



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

### Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

### About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



## Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

## Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

## Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.







TA  
545  
B34  
1876







403

*Alexander Zuber*

ELEMENTE

DER

VERMESSUNGSKUNDE.

EIN

LEHRBUCH DER TECHNISCHEN GEOMETRIE

VON

*Karl*  
**CARL MAX <sup>milian</sup> v. BAUERNFEIND.**

FÜNFTE VERMEHRTE AUFLAGE.

ERSTER BAND.

---

STUTT GART.

Verlag der J. G. Cotta'schen Buchhandlung.

1876.

Prof. Alex. Ziwet  
5-7<sup>1</sup> 1923





## Aus früheren Vorreden.

Zur ersten Auflage des ersten Bands, 1856.

Der Leipziger Ostermesskatalog kündigte dieses Werk bereits vor neun Jahren an; es erschien aber nicht, weil mir bald nach jener Ankündigung neben meinem Lehrberufe noch ein practischer Wirkungskreis als Ingenieur angewiesen wurde, der mich an der Vollendung des Manuscripts hinderte.

Das Bedürfniss, dem ich damals nach lange fortgesetzten Studien und Arbeiten entgegen kommen wollte, besteht heute noch. Ob es durch das vorliegende Buch, welches wenigstens das „nonum prematur in annum“ für sich hat, befriedigt wird, müssen entweder diejenigen entscheiden, welche dieses Werk als Leitfaden für ihre Vorträge, oder als Compendium beim Studiren, oder als Rathgeber bei ihren Vermessungsarbeiten benützen, oder jene, welche eben so gut mit der Literatur als mit der Praxis der Messkunde vertraut sind und sich die Mühe geben, es mit anderen Werken seiner Art zu vergleichen.

Um die Beurtheilung meiner Arbeit zu erleichtern, will ich die Gesichtspunkte bezeichnen, welche ich bei ihrer Durchführung festgehalten habe.

Ich gab diesem Buche, das von der Land-, Berg- und Wassermessung handelt, den Titel „Vermessungskunde“, weil er nach meiner Meinung dem Inhalte am besten entspricht. Ich fügte ferner der allgemeinen Bezeichnung den beschränkenden Beisatz „Elemente“ bei, um damit anzudeuten, dass hier alle wesentlichen Grundlagen der gesamten Vermessungskunde vertreten sind. Bei gehöriger Benützung sollen diese Elemente die Fähigkeit verleihen, alle Vermessungen für technische und staatswirthschaftliche Zwecke mit Sicherheit auszuführen und das Studium der grösseren Werke über Landes- und Gradmessungen mit gutem Erfolg zu betreiben.

Das Materiale, welches der Verarbeitung unterlag, habe ich in drei Hauptabtheilungen gesondert, von denen die erste die Mittel zur Messung oder die Messinstrumente, die zweite die Anwendung dieser Mittel oder die Ausführung und Berechnung der Messungen, und die dritte den eigentlichen Zweck der Messungen oder die Herstellung von Plänen und Karten behandelt. Diese Eintheilung erscheint mir als die natürlichere um so mehr, als sie keine Trennung der Messkunde in eine niedere und höhere erfordert.

Auf die im ersten Theile enthaltene Instrumentenlehre lege ich ein besonderes Gewicht, weil von der genauen Kenntniss des Baues, der Prüfung, der Berichtigung und des Gebrauchs der Messinstrumente die Zuverlässigkeit geometrischer Arbeiten vorzugsweise abhängt, und weil bis jetzt nur wenige Schriftsteller mit hinreichender Sachkenntniss auf die Theorie aller Messinstrumente, um die es sich hier handelt, eingingen. Dieser Band enthält, wie ich glaube, mehr Neues als sein Titel erwarten lässt. Der sachkundige Leser wird namentlich finden, dass ich nicht bloss bemüht war, den vorliegenden Gegenstand klar und übersichtlich zu machen, sondern dass ich es auch an einer auf Erfahrung ruhenden Beurtheilung häufig angewendeter Instrumente nicht fehlen liess und in vielen Fällen, wo es sich um den Bau oder die Theorie eines Instruments handelte, meine eigenen Wege ging. Zeuge dessen sind die Artikel: Prismenkreuz, Winkelprisma, Spiegelkreis, Distanzmesser, Stromquadrant, Pitot'sche Röhre u. s. w., welche sich wohl alle wie der erstere zu besonderen Abhandlungen geeignet hätten. Auch das glaube ich als einen Vorzug meines Buchs, wenn auch nicht als mein Verdienst anführen zu dürfen, dass es eine gedrängte Darstellung der ausgezeichneten Arbeit G. S. Ohm's, meines unvergesslichen Lehrers, über die Helligkeit und das Gesichtsfeld der Fernrohre enthält.

Dass sich ein Lehrbuch der Vermessungskunde auf die Mathematik stützen muss, versteht sich eben so von selbst, als dass mit Formelentwickelungen allein oder mit blossen Beschreibungen der Instrumente und receptartigen Anleitungen zu ihrem Gebrauche nichts gethan ist. Ich war bemüht, mich von den Uebertreibungen nach beiden Seiten hin fern zu halten und habe vor Allem getrachtet, der Theorie der Messinstrumente eine wissenschaftliche Grundlage zu geben und sie so einfach und anschaulich als möglich vorzutragen.

Man wird finden, dass ich die hierauf bezüglichen Entwickelungen nicht mit der Ausführlichkeit darlegte, wie dieses sonst wohl in Büchern zu geschehen pflegt, sondern meist nur den Gang der Rechnung,

einzelne Zwischenergebnisse und die Endresultate angab. Dieses Verfahren gewährt den mit den nöthigen mathematischen Kenntnissen ausgerüsteten Lesern Gelegenheit, sich in der Herleitung der Formeln zu üben, und ist für jene, welche von der Mathematik nur wenig verstehen und sich mit Resultaten begnügen, völlig ausreichend, während es allen Käufern des Buchs den mit der Raumersparniss verbundenen Vortheil grösserer Wohlfeilheit darbietet.

Die Abbildungen der Instrumente, womit dieser Band ausgestattet ist, wurden alle neu und gewiss auch so gezeichnet, dass sie an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig lassen. Zu ihrer Herstellung diente die von mir angelegte und für meine Vorlesungen bestimmte geodätische Sammlung der hiesigen polytechnischen Schule, dann mehrere Werkzeichnungen der mechanischen Institute von Ertel in München, Breithaupt in Cassel, Repsold in Hamburg, Pistor und Martins in Berlin, Starke in Wien u. s. w. Die grösseren Original-Zeichnungen hat einer meiner vorzüglichsten Schüler, der Baucandidat Herr Adolph Döhlemann, mit eben so viel Einsicht als Geschick angefertigt, während den Holzschnitt aller Figuren der Künstler Herr Leo Bock dahier in meisterhafter Weise besorgte.

Obwohl hier viele Instrumente abgebildet sind und deren Einrichtung, Wirkungsweise, Untersuchung und Gebrauch erklärt ist, so konnten doch nicht alle, welche in verschiedenen Ländern und Orten Anwendung finden, aufgenommen werden. Es war dieses auch nicht nöthig, da es Aufgabe der Theorie ist, das Wesen jeder brauchbaren Classe von Instrumenten allgemein so darzulegen und an einigen Beispielen so zu erläutern, dass man hienach die besonderen Eigenthümlichkeiten jedes dieser Classe angehörigen Instruments sofort erkennen und beurtheilen kann. Von diesem Gesichtspunkte aus lässt sich aber behaupten, dass in dem vorliegenden Bande alle nur einigermaßen wichtigen Messinstrumente vertreten sind.

Zur ersten Auflage des zweiten Bands, 1858.

Fast alle Lehrbücher der practischen Geometrie sind insofern einseitig abgefasst, als sie ihr Hauptaugenmerk nur dem Aufnehmen des Geländes zuwenden. In unserer Zeit aber, wo man ausserordentliche Summen auf Bauwerke verwendet, die vorzugsweise in Terrainveränderungen bestehen, sind die dem Aufnehmen entgegengesetzten Messoperationen, die Absteckungen, durch welche jene Veränderungen eingeleitet und geregelt werden, von der grössten Wichtigkeit, und

ausserdem haben dieselben auch an und für sich ein Interesse: ich habe sie desshalb ausführlich behandelt. Namentlich gilt dieses von dem Abstecken langer gerader Linien und grosser Curven, so wie von jenen Absteckungen, welche sich auf das Nivelliren gründen.

Gleichwie ich die Einseitigkeit in Bezug auf die Behandlung der Hauptabtheilungen der Lehre von den Messungen zu vermeiden suchte, eben so war ich auch bestrebt, in den Unterabtheilungen den verschiedenen Methoden gerecht zu werden. Ich nenne hier nur die Aufnahmen mit dem Messtische und dem Theodolithen, von welchen jeder mit der hierauf bezüglichen Literatur Vertraute weiss, dass die letzteren, trotz ihrer grösseren Genauigkeit, in den Lehrbüchern der Geodäsie äusserst dürftig behandelt werden. Diesem Mangel, welcher auch von jedem einsichtsvollen practischen Geometer gefühlt wird, suchte ich nach Kräften zu begegnen, und ich hätte dieses vielleicht noch ausführlicher gethan, wenn mir einige freundliche Mittheilungen in dieser Richtung früher zugekommen wären.

Mehrere Lehrbücher der Messkunde sind nach der Meinung ihrer Verfasser dann schon „nach dem neuesten Standpunkte der Wissenschaft“ bearbeitet, wenn sie eine grössere Abhandlung über die Methode der kleinsten Quadrate und deren Anwendung auf gewöhnliche Messungen, z. B. mit der Kette, enthalten. Nach diesem neuesten Standpunkte habe ich nicht gestrebt, da ich der Ansicht bin, dass die Fehler der Messungsergebnisse der sogenannten niederen Geodäsie ohne Wahrscheinlichkeitsrechnung ausgeglichen werden können und sollen, und eine Ausgleichung der Fehler nach der Methode der kleinsten Quadrate nur bei den feinsten geodätischen Messungen, wozu vor allen die Winkelbestimmungen der Dreiecke erster und zweiter Ordnung gehören, am Platze ist. Ein Lehrbuch der Geodäsie, welches von diesen Messungen wirklich handelt, kann wohl die Anwendung jener Methode zeigen, braucht aber eine weitläufige Abhandlung darüber eben so wenig als über Geometrie und Algebra, ebene und sphärische Trigonometrie, Reihenlehre und Einrichtung der Logarithmentafeln zu enthalten. Wer sich mit dem Studium der Geodäsie befassen will, muss das der Mathematik bis zu einem hinreichenden Grade schon vollendet haben und darf rein mathematische Abhandlungen nur da suchen, wo sie hin gehören.

Getreu seiner Bestimmung gibt der zweite Band nur Anleitung zur sicheren Ausführung aller Vermessungen für technische und staatswirthschaftliche Zwecke und überlässt daher die Lehre von den Gradmessungen besonderen Werken. Selbst die trigonometrischen Arbeiten

für grosse Landesvermessungen sind nur so weit behandelt als nöthig ist, eine klare Einsicht in das Wesen derselben und den Zusammenhang der Steuerblätter und topographischen Karten mit den Dreiecksnetzen und dieser mit den Meridianen und Parallelkreisen der Erde zu gewähren. Denn dieses reicht für diejenigen, welche nicht selbst solche Landesvermessungen zu leiten haben, vollkommen aus und bereitet künftige Dirigenten grosser Triangulirungen genügend vor, das für diesen Zweck unerlässliche Studium von Specialwerken, wie die von Gauss, Bessel, Struve, Hansen, Delambre u. A., erfolgreich zu betreiben und sich durch Betheiligung an bedeutenden practischen Arbeiten dieser oder ähnlicher Art vollständig auszubilden.

Zu den wichtigsten Messungen für die oben genannten Zwecke gehört ohne Zweifel das Nivelliren und dessen Anwendung zur Figurirung des Geländes mittels Horizontalcurven. Diesem selbst von den besseren Lehrbüchern der practischen Geometrie nicht genug gewürdigten Gegenstande habe ich eine um so grössere Sorgfalt zugewendet, je mehr ich Gelegenheit hatte zu beobachten, wie sehr derselbe von vielen Ingenieuren noch vernachlässigt wird, obgleich die Darstellung des Terrains durch Horizontalcurven die Grundbedingung rationeller Entwürfe von Strassen, Eisenbahnen und Canälen, die durch Berg- oder Hügelland führen, bildet.

Das Markscheiden ist hier selbstverständlich im Sinne der „neuen Markscheidekunst“ aufgefasst, wonach alle Arbeiten, deren Zweck es fordert und deren Oertlichkeit es zulässt, an der Stelle des Compasses und Gradbogens mit den vollkommeneren Instrumenten der practischen Geometrie, der Libelle, dem Messtische und dem Theodolithen, ausgeführt werden. Da jedoch die Behandlung und Anwendung dieser Messwerkzeuge theils im ersten Bande, theils in den beiden ersten Abschnitten des zweiten Bandes enthalten sind, so blieb für den dritten Abschnitt, der von den Grubenmessungen handelt, nur dasjenige anzuführen übrig, was sich ohne die daselbst bezeichneten Vorkenntnisse vom Bergbaue den Horizontal- und Verticalmessungen nicht anreihen liess, und was sich auf jene Arbeiten des Markscheiders bezieht, die er bei dem besten Willen und der gründlichsten geometrischen Ausbildung nur mit den althergebrachten Hilfsmitteln vollziehen kann.

Von den Wassermessungen wurde nur so viel aufgenommen, als zur Erforschung der Wassermenge und mechanischen Arbeit eines Flusses erforderlich ist. Hätte ich den Umfang des betreffenden Abschnitts erweitern wollen, so wären dem Zwecke dieses Buchs ferne liegende Abschweifungen in die Gebiete der Hydraulik unvermeidlich

gewesen, während der hier behandelte engere Kreis von Messungen in und an Flüssen vorzugsweise nur geometrische Operationen erheischt, also den übrigen Gebieten der practischen Geometrie ganz nahe verwandt ist.

Dem Umfange nach ist die vom Plan- und Kartenzeichnen handelnde dritte Abtheilung dieses Werks ziemlich mager ausgefallen, weil sich ihr Inhalt nur theilweise wissenschaftlich behandeln lässt und die theoretischen Anleitungen zum Entwerfen von Karten nur für ein kleines Publicum practisches Interesse haben, während sie für das grössere, dem dieses Buch vorzugsweise gewidmet ist, lediglich als eine Ergänzung vieler Lehrbücher der Geographie erscheinen.

Wenn ich mir nun das Zeugniß geben darf, dass ich nach Kräften darauf bedacht war, diesem Buche inneren Werth zu verleihen, und wenn nicht bezweifelt werden kann, dass die Verlagshandlung in der äusseren Erscheinung desselben ein Muster vorzüglicher Ausstattung aufgestellt hat: so können wir wohl beide, Verleger und ich, jeder unbefangenen Beurtheilung unseres Werks mit Ruhe entgegensehen.

#### Zur zweiten Auflage, 1862.

Die erfreuliche Thatsache, dass seit dem vollständigen Erscheinen der ersten starken Auflage noch keine vier Jahre verflossen sind, ist mir ein Zeichen, dass dieses Buch bei seinem Leserkreise dieselbe günstige Aufnahme fand, wie bei den Fachgelehrten, welche es öffentlich beurtheilten. Ich habe mir desshalb auch nicht erlaubt, die zweite Auflage principiell zu verändern, wohl aber war ich bemüht, ihren Inhalt zu verbessern.

Die Instrumentenlehre ist vermehrt, die Theorie der Messungen abgekürzt und theilweise umgearbeitet worden. Die Kürzungen betreffen namentlich die Lehre von der Messung der Linien und den fehlerzeigenden Dreiecken, welche noch zu ausführlich war, obgleich ich schon bei der ersten Bearbeitung alle theoretischen Sätze wegliess, welche keine Beziehung zur Praxis haben. Eine gänzliche Umarbeitung erfuhr die Lehre vom barometrischen Höhenmessen, nachdem ich in der Zwischenzeit über diesen Gegenstand umfassende Beobachtungen und Untersuchungen angestellt hatte, welche nicht unwichtige theoretische und practische Ergebnisse lieferten und auch zu neuen hypsometrischen Tafeln führten, die im Anhange enthalten sind. Die meisten Capitel liess ich unverändert, insbesondere jenes von den Grubenmessungen, über welches sich zwei öffentliche Stimmen insoferne wider-



sprachen, als es die eine für zu lang und die andere für zu kurz erklärte. In diesem Widerspruche liegt der Beweis, dass ich den für ein Lehrbuch passenden Mittelweg getroffen habe, aber auch die Aufforderung zu der wiederholten Erklärung, dass die Markscheidekunde nicht bloss in der kleinen Zahl von Blättern zu suchen ist, welche die Ueberschrift „Grubenmessungen“ führen, sondern hauptsächlich in der geodätischen Instrumentenkunde und in der Lehre von den Horizontal- und Verticalmessungen. In dem von den Grubenmessungen handelnden Abschnitte ist wesentlich nur das vorgetragen, was man die „alte Markscheidekunst“ zu nennen beliebt, und was sich bis auf Weiteres weder aus dem Gebiete der Messkunde hinausweisen noch gut mit der Geodäsie vereinigen lässt.

Diejenigen practischen Geometer, welche der Meinung sind, dass der Messtisch und die Kippregel einer unwissenschaftlichen Vergangenheit angehören, werden diese Auflage vielleicht desshalb tadeln, weil ich in ihr neben dem älteren Reichenbach'schen Menselapparate auch einen neuen dargestellt habe, welchen ich voriges Jahr bei Ertel und Sohn dahier anfertigen liess. Dieselben mögen aber bedenken, dass dieser Apparat gegenwärtig dem Theodolithen ziemlich nahe gebracht und desshalb zu Aufnahmen von geringer Genauigkeit geeigneter ist als jede andere Vorrichtung, welche die Abbildung des Gemessenen nicht unmittelbar zulässt. Diese Aufnahmen sind sehr bequem und schnell zu machen, wenn das Fernrohr der Kippregel zum Distanzmessen eingerichtet ist; eine Einrichtung, welche man auffallenderweise viel weniger verbreitet findet, als sie verdient. Um jedoch nicht missverstanden zu werden, bemerke ich ausdrücklich, dass ich für genaue Messungen die Dreiecks- und Coordinatenmethode jeder anderen vorziehe, wie ich dieses auch bereits in der ersten Auflage deutlich ausgesprochen und durch umständliche Behandlung jener Methode thatsächlich bewiesen habe.

#### Zur dritten Auflage, 1869.

Zu den Verbesserungen dieser Auflage rechne ich die Beseitigung mehrerer sinnstörender Druckfehler der zweiten und die Umarbeitung einiger Zeichnungen und Holzschnitte, zu den Erweiterungen, welche hoffentlich auch Verbesserungen sind, die Aufnahme verschiedener neuer Hilfsmittel der technischen Geometrie (z. B. der Spiegelprismen, des Jähns'schen Messtisches etc.) und die Einführung einer wissenschaftlich begründeten Theorie der atmosphärischen Strahlenbrechung.

Durch jene sollen die am häufigsten vorkommenden Messoperationen der Ingenieure und Geometer erleichtert und abgekürzt, durch diese die Berechnungen der trigonometrischen Höhenmessungen bestimmter und zuverlässiger gemacht werden, als sie es bisher waren, wo man den Coefficienten der terrestrischen Refraction nach Belieben zwischen sechs und zehn Hunderteln wählen konnte.

Wenn diese Wahl für Manche den Vortheil bot, ihre trigonometrischen und barometrischen Höhenmessungen ohne besondere Belastung ihres wissenschaftlichen Gewissens in Uebereinstimmung zu bringen, so hatte sie doch für die Mehrzahl der Geodäten das Unangenehme, auf Gerathewohl, d. h. ohne Rücksicht auf Temperatur, Luftdruck und Ortslage, vorgenommen werden zu müssen, weil man die Beziehungen dieser Grössen zu den Refractionscoefficienten nicht kannte.

Dieser Unannehmlichkeit ist man nunmehr überhoben, wenn man entweder die hier entwickelten trigonometrischen Höhenformeln unmittelbar anwendet oder doch den von mir gegebenen Ausdruck für die irdische Strahlenbrechung in die bisher üblichen alten Formeln, die ich absichtlich noch beibehalten habe, um den Uebergang zu den neuen zu erleichtern, einsetzt.

#### Zur vierten Auflage, 1873.

Seit der dritten Auflage dieses Buchs hat sich eine nicht unbedeutliche Erweiterung desselben und damit die wiederholte Theilung des einen Bandes, in welchen die zweite und dritte Auflage zusammen gezogen waren, in zwei Bände als nothwendig erwiesen.

In erster Linie galt es den barometrischen Höhenmessungen mehr Aufmerksamkeit zu schenken, nachdem die Ingenieure angefangen haben, bei vorläufigen Tracirungen von Strassen und Eisenbahnen der Aneroïde sich zu bedienen, und die Geographen und Naturforscher keine Gebirgsreise ohne Federbarometer mehr machen. Das Höhenmessen mit Aneroïden ist jetzt Mode geworden, und in Ermangelung richtiger Einsicht schreibt man diesen Instrumenten durchschnittlich eine viel grössere Genauigkeit zu als sie besitzen und besitzen können. Liest man ja doch in technischen Zeitschriften, dass mit dergleichen Barometern vom Wagen aus ganze Strassenzüge bis auf einen halben Meter genau nivellirt worden seien, und nicht selten vernimmt man die mündliche Versicherung, dass dieser oder jener Ingenieur ein Aneroïd besitze, welches jede Höhe bis auf einen Fuss genau anzeige! Solche Täuschungen lassen sich nur mit Erfahrungs-

resultaten bekämpfen, gegen welche es begründete Einwendungen nicht gibt, und ich habe mich in diesem Kampfe anderen Beobachtern und Schriftstellern der technischen Geometrie angeschlossen.

Ausserdem war ich veranlasst, die Grundzüge der Methode der kleinsten Quadrate und ihrer Anwendung auf geodätische und hydro-metrische Arbeiten darzustellen. Ich that dieses mit einigem Widerstreben, weil ich noch heute der in der Vorrede zur ersten Auflage ausgesprochenen Ansicht bin, dass gewöhnliche Messungen ohne Wahrscheinlichkeitsrechnung ausgeglichen werden können und sollen, die Begründung der Ausgleichung feiner Beobachtungen aber besonderen Werken zu überlassen ist; doch wurde diese Abneigung einerseits durch das Verlangen jüngerer Ingenieure nach einer Anleitung zur Methode der kleinsten Quadrate, andererseits durch den aus der Uebertreibung des Gebrauchs dieser Methode entspringenden Wunsch, vor falschem Eifer zu warnen, überwunden. Indessen habe ich von der Ausgleichungsrechnung nur so viel vorgetragen, als zum Verständniss ihrer Anwendung auf gute Messungen nothwendig ist, und ich bin hiebei dem bekannten Werke von Gerling gefolgt, welches den Entwicklungen von Gauss sich anschliesst und zum Studium der Quellenwerke dieses Mathematikers und der Geodäten Bessel, Hansen u. a. m. vorbereitet.

Endlich habe ich auch die Lehre von den Wassermessungen einer wiederholten Durchsicht unterzogen und, wo es nöthig schien, vermehrt und verbessert. Ich konnte mich jedoch nicht entschliessen, die von einigen Hydrotekten so hoch gepriesenen Aufstellungen der amerikanischen Ingenieurofficiere Humphreys und Abbot über die Bewegung des Wassers in Flussbetten als bewiesene Thatsachen anzusehen und behielt desshalb die auf zahlreichen Beobachtungen deutscher und französischer Wasserbau-Ingenieure beruhenden Formeln von Eytelwein, Prony u. A. auch in dieser neuen Auflage meines Buchs bei, überzeugt, dass dieselben der Wahrheit so nahe kommen als es zur Zeit möglich und für die practische Anwendung nothwendig ist.

---

## Vorrede zur fünften Auflage.

Rasch auf einander folgende neue Auflagen eines Werks kommen nicht bloss dem Verfasser und Verleger, sondern auch der Wissenschaft und dem Publicum zu statten, insoferne es hiedurch möglich wird, alle brauchbaren neuen Forschungen und Erfindungen aus versteckten und oft schwer zugänglichen Stellen in Zeitschriften rechtzeitig auf den freien und regelmässig zubereiteten Boden der Lehrbücher zu versetzen.

Dieses gilt insbesondere von diesem Buche, das mit jeder neuen Auflage gewichtige Bereicherungen erhielt und ohne den eben genannten günstigen Umstand erst in einigen Jahren die Erweiterungen bringen könnte, mit denen es schon jetzt seine fünfte Wanderung beginnt. Ich rechne hieher die Mittheilungen über eine neue Libellenconstruction, zwei neue Messtische und einen neuen electromagnetischen Zählapparat für den Woltman'schen Flügel, sowie die Erörterungen über die Eigenschaften der Federbarometer und die in neuester Zeit in den Vordergrund sich drängenden sogenannten Tacheometer und deren practische Verwerthung.

Bei jenen Mittheilungen war es mir darum zu thun, Ingenieure und Geometer auf einige Fortschritte der Instrumententechnik aufmerksam zu machen, und bei diesen Erörterungen, die sich kundgebende übertriebene Begeisterung für Aneroïde und Tacheometer auf ihr richtiges Mass zurückzuführen und nachzuweisen, dass an den Tacheometern und der Tacheometrie nichts neu ist als die Bezeichnung, welche man in Frankreich und Italien den Nachbildungen Reichenbach-Ertel'scher Universalinstrumente und den hieran sich knüpfenden Methoden das Terrain aufzunehmen gegeben hat.

München, im Mai 1875.

**Carl Bauernfeind.**

# Inhaltsverzeichniss des ersten Bands.

## Einleitung.

### 1. Allgemeine Betrachtungen und Begriffe.

Seite

Begriff der Vermessungskunde. Gestalt und Grösse der Erde. Geographische Begriffe. Lothrechte Linien und Ebenen. Wagrechte Linien und Flächen. Karte und Plan. Eintheilung der Vermessungskunde . 1—10

### 2. Von den bei Vermessungen gebräuchlichen Massen.

Ueber Masse im Allgemeinen. Französische, deutsche, österreichische, schweizerische, englische Masse. Winkelmasse. Massvergleichen . 10—19

### 3. Vom Sehen mit dem freien Auge.

Bau des Auges. Hergang beim Sehen. Deutliches Sehen. Sehweite. Scheinbare Grösse eines Gegenstands . . . . . 19—24

## Erste Abtheilung.

### Die Lehre von den Messinstrumenten.

#### I. Bestandtheile der Messinstrumente.

##### A. Mittel zur Herstellung von Absehlinden.

— Diopter: ihre Einrichtung, Prüfung, Genauigkeit, Nachtheile. Spiegel: Theorie der parallelen und prismatischen Spiegel. Glasprismen. (Fernrohre s. weiter unten) . . . . . 28—46

##### B. Mittel zum Lothen und Wagrechtstellen.

Senkel. Libellen: Ausschlag, Empfindlichkeit, Einrichtung, Prüfung, Berichtigung, Gebrauch der Röhren- und Dosenlibellen . . . . 46—67

##### C. Mittel zur Vergrösserung sehr kleiner Gegenstände.

Lupen: Convexe Linsen, ihr optischer Mittelpunkt, Lage und Grösse der Bilder. Vergrösserung. Kugelgestalt. Verbindung der Lupen mit Messinstrumenten . . . . . 67—76

##### D. Mittel zur Vergrösserung weit entfernter Gegenstände.

Fernrohre. Einfachster Bau des astronomischen Fernrohrs, dessen Wirkungsweise, Vergrösserung, Augenpunkt. Objective und Oculare. Helligkeit, Gesichtsfeld, Fadenkreuz, Einrichtung, Prüfung, Berichtigung, Genauigkeit des Messfernrohrs . . . . . 76—106

rel. Seite

107—128

128—130

130—131

131—133

133—158

158—175

el.

175—202

el.

203—230



## Inhaltsverzeichnis.

an Instrumenten von Ertel in München und Breithaupt in Kassel. Excentricitäts- und Theilungsfehler der Theodolithe. Grubentheodolithe von Breithaupt und Junge, nebst dazu gehörigen Signalen . . . . .

### 3. Spiegelinstrumente.

Wesen und Zweck derselben. Der Spiegelsextant: Geschichtliches, Theorie, Einrichtung, Gebrauch, Prüfung, Berichtigung, Genauigkeit. Der Spiegel- oder Reflexionskreis von Pistor und Martins, in gleicher Weise betrachtet und mit dem Sextanten verglichen . . . . .

## IV. Instrumente zum Längenmessen.

### A. Massstäbe.

Verschiedenheit derselben. Urmasstäbe: das preussische Urmass, der Glasmeter von Steinheil. Messstangen: Apparat von Schwerd nach Reichenbach. Der Bessel'sche Basisapparat. Messlatten: Einrichtung und Abgleichung. Messstäbe: der Rnthen- und Lachterstab, die Drehlatte . . . . .

### B. Messketten und Bänder.

Zweck und Arten der Messketten. Beschreibung, Gebrauch und Genauigkeit der Feldkette und der Lachterkette der Markscheider. Messschnüre und Bänder . . . . .

### C. Messräder.

Das Messrad von Steinheil für Basismessungen, noch unvollendet. Das Messrad von Wittmann in Wien zur Bestimmung von Weglängen auf Strassen und Eisenbahnen . . . . .

### D. Distanzmesser.

Begriff und Eintheilung. Der Reichenbach'sche Distanzmesser: Einrichtung, Wirkungsweise, Prüfung, Berichtigung, Gebrauch, Reduction der schiefen Längen auf den Horizont. Das Ertel'sche Universalinstrument als Distanzmesser: Wirkung des Collectivglases, Reductionen, Prüfung und Berichtigung, Genauigkeit. Der Stampfer'sche Distanzmesser . . . . .

## V. Instrumente zum Höhenmessen.

### A. Nivellirinstrumente.

#### 1. Nivellirlatten.

Erforderniss der Latten. Nivellirlatten mit Zielscheiben: gewöhnliche Einrichtung, Beschaffenheit der Stampfer'schen, welche auch zum Distanzmessen dienen. Die Reichenbach'schen Nivellirlatten ohne Zielscheiben . . . . .

#### 2. Pendelinstrumente.

Das Pendel ein wesentlicher Bestandtheil. Ihre Genauigkeit. Setzwage, Pendelwage, Bergwage, Wallwage, Hängewage . . . . .



# Einleitung.



## 1. Allgemeine Betrachtungen und

**§. 1. Messen.** Die Bestimmung des Verhältnisses Grössen heisst messen. Bei der Verrichtung dieser Betrachtung: die zu messende Grösse, welche sich per, Zeit, Kraft darstellt; die Masseinheit oder womit eine andere noch unbekannte gleicher Art  $m$  Mass oder die Zahl, welche den Inhalt der gemeinheiten angibt.

Bestimmt man das Mass durch wirkliches Ausmessen der Grösse mit der Masseinheit, so verrichtet man eine direkte Messung; wird aber dieses Mass aus bekannten Grössen gemessen in einem bestimmten mathematischen Zusammenhang, so heisst dieser Vorgang eine mittelbare Messung; man z. B. eine gerade Linie unmittelbar durch Anlegen einer zusammengesetzten Längeneinheit darstellend, indem man sie mit zwei anderen Geraden zu einem Dreieck und ihre Länge aus drei entsprechenden vorher gemessenen Dreiecken berechnet oder zeichnet.

Zu den mittelbaren Messungen gehören auch die Messungen der Grösse durch eine ihr zwar ungleichartige Beziehung zu ihr stehende Masseinheit ausgedrückt, wie die Geschwindigkeit  $v$  eines Körpers durch den Weg  $w$ , die Einheit zurückgelegt, oder die Temperatur  $t$  durch die Höhe der Quecksilbersäule im Thermometer. Bei diesen Messungen wird zwar auch nur zwischen je zwei gleichartigen Grössen eine Beziehung drückt, von jedem Paare der verglichenen Grössen eine andere stillschweigend als Einheit angenommen wird. Die ersten Beispiele bilden die Geschwindigkeiten, die in der Zeiteinheit zurückgelegten Wege  $1$  und  $2$  in einer geometrischen Proportion, aus welcher somit auch der Weg  $w$  folgt. Nach dem zweiten Beispiel der Temperaturen  $1$  und  $t$  in dem ersten und zweiten Säulen

die Temperatur  $t$  gleich  $g$  Grad

drucke Vermessungskunde  
sdehnung. Im weitesten Sinne  
ismessung aller räumlich aus-  
as des Erdkörpers: die prä-  
engsten Sinne bloss die Lehre  
berfläche oder einzelner Theile

der Vermessungskunde schwer  
des menschlichen Wissens und  
rössen erfordern oder zulassen,  
beschränkt, dass die wichtigen  
bwohl sie ganz auf den Lehren  
ge besondere Hilfsmittel erfor-  
int desshalb angemessen, dem  
sdehnung zu geben, nach wel-  
er Markscheide- und Wasser-  
re von der Bestimmung der  
und unter der Erdoberfläche  
ser definiren lässt.

Erdrinde wird eben so wie die  
nd Winkel bestimmt; die Ge-  
ergiebt sich aus einer Verbin-  
r Vermessungskunde hat man  
en und Winkeln, und ausser-  
zu thun. Diese Grössen sind  
ur gedacht werden, mit der  
ng aber, wo sie beobachtet  
ie Hilfsmittel der Beobachtung,  
bestmöglichen Vollkommenheit,  
zen, nie gestatten, irgend eine  
ie uns von der Natur gesetzte  
rigens so weit hinausgertickt,  
und wissenschaftlichen Bedürf-  
es lassen sich Längen bis auf  
l bis auf halbe Sekunden sicher

Die Bestimmung der Gestalt  
gsten Arbeiten der Messkunst  
chen und geistigen Hilfsmittel  
tzt nur von den Ergebnissen  
er Hauptsache abgeschlossenen  
und erst später gezeigt werden,



wie man zu ihnen gelangt.<sup>1</sup> Diese Ergebnisse müssen wir aber schon hier kennen, nicht bloss um eine richtige Vorstellung von dem eigentlichen Gegenstande der Vermessungskunde zu erhalten, sondern auch um sie bei den folgenden Betrachtungen über Messinstrumente und Messungen zu benutzen.

Nach den Arbeiten von Bessel, welche die genaueste Bestimmung der Gestalt und Grösse der Erde aus eigenen und fremden Messungen zum Ziele hatten, ist es sehr wahrscheinlich, dass die mathematische Figur der Erde, welche als Umdrehungs-Ellipsoid betrachtet wird, nicht regelmässig ist, sondern nur diesem Ellipsoid sehr nahe kommt, so dass sie sich zu ihm etwa wie die Oberfläche eines sanft bewegten Wassers zu der eines ruhigen verhält. Die Abweichungen von dem genannten Ellipsoid sind so gering, dass sie bei den meisten Messungen unberücksichtigt bleiben können.

Somit sehen wir die Erde als einen Körper an, dessen mathematische Oberfläche entsteht, wenn sich eine Ellipse, deren grosse Halbaxe  $a = 3\,272\,077$  Toisen  $= 6\,377\,400$  Meter, und deren kleine Halbaxe  $b = 3\,261\,139$  Toisen  $= 6\,356\,080$  Meter ist, um ihre kleine Axe dreht. Dieses Ellipsoid weicht auch nur wenig von einer Kugel ab, da der Unterschied der beiden Axen bloss den 300sten Theil der grossen Axe beträgt. Das Verhältniss dieses Unterschieds zur grossen Axe, die Abplattung der Erde, ist gleich

$$A = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{299,1528} \text{ oder nahezu } = \frac{1}{300} \cdot \cdot \cdot \cdot (1)$$

Da die Meridiane der Erde keine regelmässigen Ellipsen sind, so kann man die mittlere Oberfläche der Erde als das arithmetische Mittel der Oberflächen zweier Ellipsoide ansehen, wovon das eine durch Drehung der Bessel'schen Ellipse um die kleine Axe und das andere durch Drehung derselben Ellipse um die grosse Axe entsteht. Berechnet man hiernach den Halbmesser einer Kugel, welche dieselbe Oberfläche wie dieses mittlere Erdellipsoid hat, so beträgt dessen Länge  $3\,266\,608$  Toisen; und bestimmt man den Halbmesser derjenigen Kugel, welche an Inhalt dem mittleren Erdellipsoid gleichkommt, so ist derselbe  $= 3\,266\,604$  Toisen: zwei Grössen, wovon die eine gar nicht, die andere aber nur um 4 Toisen von dem arithmetischen Mittel der beiden Halbaxen  $a$  und  $b$  abweicht. Wegen dieser geringen Verschiedenheit kann man für sehr viele Arbeiten der Vermessungskunde, namentlich für gesonderte Aufnahme von Flurmarkungen, die Erde als eine Kugel von  $3\,266\,608$  Toisen ( $\log = 6,5140971$ ) oder  $6\,366\,740$  Meter ( $\log = 6,8039171$ ) Halbmesser betrachten.

#### §. 4. Geographische Begriffe. Zur genauen Bezeichnung von Punkten

<sup>1</sup> Ohne geodätische Kenntnisse zu besitzen, kann man sich über die Geschichte der Erdmessungen und die Ziele der gegenwärtig im Gange befindlichen europäischen Gradmessung unterrichten, entweder durch General Baeyer's »Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung,« Berlin 1864, oder durch des Verfassers öffentlichen Vortrag über »die Bedeutung moderner Gradmessungen,« München 1866, bei G. Franz.

der Erde denkt man sich auf und in dieser gewisse Linien gezogen, deren Bedeutung und Namen man kennen muss. Die kleine Axe der das Erdellipsoid erzeugenden Ellipse heisst die Erdaxe. Jede durch diese Axe gelegte Ebene heisst eine Meridianebene, und der Schnitt einer solchen Ebene mit der Erdoberfläche ein Meridian. Jeder Meridian ist der erzeugenden Ellipse des Erdsphäroids gleich. Sieht man die Erde als Kugel an, so ist er ein grösster Kreis. Die Ebene, welche durch den Erdmittelpunkt geht und auf der Umdrehungsaxe senkrecht steht, heisst Aequatorebene, und der grösste Kreis, nach welchem sie die Erdoberfläche schneidet, der Aequator. Jeder Durchschnitt einer dem Aequator parallelen Ebene mit der Erdoberfläche wird ein Parallelkreis oder kürzer ein Parallel genannt.

Die Lage eines Punkts auf dem Erdsphäroid wird durch zwei Winkel bestimmt, von denen der eine seine geographische Länge und der andere seine geographische Breite heisst. Denkt man sich nämlich durch den zu bestimmenden Punkt eine Meridianebene gelegt, so heisst der Neigungswinkel dieser Meridianebene gegen eine bestimmte als erste angenommene Meridianebene die geographische Länge jenes Punkts, während der Neigungswinkel der Normale des zu bestimmenden Punkts gegen die Aequatorebene seine geographische Breite genannt wird. Die geographischen Breiten werden auf den Meridianen vom Aequator aus gezählt und man unterscheidet nördliche und südliche Breiten, je nachdem sie sich auf die nördliche oder südliche Halbkugel beziehen. Die Meridianbögen, welche den einzelnen Breitengraden angehören, nehmen gegen die Pole hin an Länge zu, weil in Folge der Abplattung die Erdkrümmung in derselben Richtung abnimmt und auf einer krummen Oberfläche zwei Normalen, die einen Winkel von einem Grad einschliessen, um so weiter von einander abstehen, je kleiner die Krümmung dieser Fläche ist. Die geographischen Längen werden von den Deutschen und Franzosen von jenem Meridian an gezählt, welcher  $20^{\circ}$  westlich von dem Meridian der Pariser Sternwarte liegt und an der Insel Ferro vorbei geht; von den Engländern aber von dem Meridian ihrer Sternwarte zu Greenwich an. Von diesen ersten Meridianen aus zählt man die Längen gegen Ost bis zu  $360^{\circ}$ , oder man zählt sie gegen Ost nur bis zu  $180^{\circ}$  und über West auch bis zu  $180^{\circ}$ ; dann muss man aber östliche und westliche Längen unterscheiden.

Nach diesen Erklärungen ist die am Ende dieses Buchs beigefügte Tafel I über die Längen verschiedener Grade auf der Erdoberfläche von selbst verständlich. Dieselbe vervollständigt die im vorigen Paragraph enthaltenen Angaben über die Gestalt und Grösse der Erde und leistet bei vielen Rechnungen gute Dienste.

§. 5. Lothrechte Linien und Ebenen. Es ist eine bekannte Wirkung der Schwerkraft, dass sie jeden auf der Erde befindlichen Körper nach einer Richtung anzieht, welche auf der Erdoberfläche senkrecht steht. Diese Richtung nennt man lothrecht oder vertical und stellt sie in

Wirklichkeit ganz einfach durch einen Faden dar, welcher an dem einen Ende festgehalten und an dem anderen mit einem schweren Körper belastet wird (Senkel, Loth). Jede durch eine lothrechte Linie gelegte Ebene heisst eine lothrechte oder verticale Ebene.

Sieht man die Erde als Kugel an, so schneiden sich alle lothrechten Linien und Ebenen in deren Mittelpunkt; betrachtet man sie aber als Umdrehungsellipsoid, so gehen nicht alle Lothe durch die Mitte, sondern nur diejenigen, welche auf dem Aequator oder an den Polen stehen, und die übrigen begegnen sich nur dann, wenn sie in einer und derselben Meridianebene liegen oder zu einem und demselben Parallelkreise gehören. Es versteht sich demnach von selbst, dass man bei dieser Annahme nicht durch irgend zwei beliebige lothrechte Linien eine Verticalebene legen kann, sondern nur durch je zwei, welche sich schneiden.

Alle Lothe auf einem Erdabschnitte sind gegeneinander geneigt; der Neigungswinkel ist aber in vielen Fällen so klein, dass er der Null gleich geachtet werden kann. Denn nimmt man die Erde als Kugel vom Halbmesser  $r = 3\,266\,608$  Toisen an, so wird der Mittelpunktswinkel  $\varphi$  der Lothe  $L$  und  $L'$ , welche um den grössten Kreisbogen  $LL' = b$  von einander abstehen, nach den Proportionen

$$\begin{aligned} 2\,r\,\pi : b &= 360^\circ : \varphi^0 = 360 \cdot 60' : \varphi' = 360 \cdot 60 \cdot 60'' : \varphi'' \\ \text{in Graden: } \varphi^0 &= \frac{180}{\pi} \cdot \frac{b}{r} = 57,2958 \cdot \frac{b}{r} = \varrho^0 \frac{b}{r} \\ \text{„ Minuten: } \varphi' &= \frac{180 \cdot 60}{\pi} \cdot \frac{b}{r} = 3437,75 \cdot \frac{b}{r} = \varrho' \frac{b}{r} \\ \text{„ Secunden: } \varphi'' &= \frac{180 \cdot 60 \cdot 60}{\pi} \cdot \frac{b}{r} = 206265 \cdot \frac{b}{r} = \varrho'' \frac{b}{r} \end{aligned} \quad (2)$$

wobei sich von selbst versteht, dass  $b$  und  $r$  mit einerlei Masseinheit gemessen werden müssen. (Die durch  $\varrho^0$ ,  $\varrho'$ ,  $\varrho''$  ausgedrückten Werthe, welche zur Ueberführung von Bogen in Winkel und umgekehrt dienen, sollen von nun an Reductionsfactoren für Winkel und Bogen heissen und stets mit diesen Buchstaben bezeichnet werden.)

Aus (2) folgt für  $b = 1852^m$  der Winkel  $\varphi = 60''$ , es beträgt somit die Neigung zweier Lothe, welche eine Viertelmeile auseinanderstehen, erst eine Minute, und man kann demnach in sehr vielen Fällen die lothrechten Linien als parallel ansehen.

§. 6. Wagrechte Linien und Flächen. Mit dem Begriffe der lothrechten Linie ist auch jener der wagrechten gegeben; denn jede Richtung, welche auf einem Lothe senkrecht steht, heisst wagrecht oder horizontal. Da die Lothlinien zweier Punkte der Erdoberfläche einen Winkel mit einander bilden, so ist klar, dass eine Gerade, welche auf dem einen Lothe senkrecht ist, es nicht auch zugleich auf dem anderen sein kann; dass folglich die wagrechte Richtung für jeden Punkt der Erde eine andere ist und streng genommen nur diejenigen Horizontallinien parallel sind, welche zu einem und demselben Lothe gehören.

r und denkt sich  
Mittelpunkt C eine  
Kugelfläche nach  
Lothrechten Linien  
Meridientallinie des  
an Punkte dessen  
Mittelpunkte L und C un-  
ter so gibt es auch  
Mittelpunkte (L). Denkt  
sich nun, und alle  
Mittelpunkte, so heisst die  
Mittelpunkte, der wahre  
Mittelpunkt, der schein-

der Punkte L und  
Mittelpunkte sich unter  
Es dürfen somit  
Es fallen als pa-  
rallèle Neigungswinkel  
von zweier Punkte,

stellt zwar die Be-  
weiser Horizont vor,  
die wahre Horizon-  
ter Annahme ein-  
nehmen fallen, und  
dämonische Linie  
die, dass sie die  
einem Punkte zu  
und in Werken,  
gegenstände haben,

einen Punkt des  
auf eine kleine  
Erdoberfläche zu-  
weilen bemerkenswer-  
tend parallel zu betrach-  
ten unter sich durch  
natürlichen Grund-  
sätze so, dass alle  
heisst diese dem  
in Grund- oder

die eine lothrechte

Ebene oder Cylinderfläche und denkt sich darin den Schnitt derselben mit der Erdoberfläche dargestellt, so ist dieser Schnitt der natürliche Aufriss der Gegend nach der Spur der lothrechten Schnittfläche. Wickelt man diese Fläche, falls sie nicht eben ist, in eine Ebene ab und zeichnet die in ihr enthaltene gebrochene Durchschnittslinie im verjüngten Massstabe auf eine ebene Fläche, so heisst das Bild, welches so entsteht, ein Aufriss, oder ein Nivellementsplan, oder auch ein Profil nach der Richtung der schneidenden Verticalebene oder Cylinderfläche.

Hat die aufzunehmende Erdstrecke eine grosse Ausdehnung, so kann man die in der Mitte derselben an das Erdellipsoid gelegte Berührungsebene nicht mehr für die ganze Strecke als horizontal ansehen und muss sich deshalb jetzt alle hervorragenden Punkte des Erdbodens mittels lothrechter Linien auf das Erdellipsoid selbst 'projicirt und die Fusspunkte der Lothe durch geodätische Linien verbunden denken. Die so erhaltene natürliche Projection kann man aber auf einer Ebene nicht geometrisch treu abbilden, weil sich eine kugelförmige Fläche nicht abwickeln lässt. Ein richtiges Bild ist nur auf einer Kugel (einem Globus) möglich. Dergleichen Abbildungen werden jedoch theils der Bequemlichkeit, theils der Kosten halber nur in sehr kleinem Massstabe<sup>1</sup> ausgeführt und sind folglich für die genauere Darstellung eines Landes nicht zu gebrauchen. Man war deshalb auf Hilfsmittel bedacht, durch welche mit verhältnissmässig geringer Aufopferung von Genauigkeit grössere Theile der Erdoberfläche, ja selbst Hälften derselben auf Ebenen abgebildet werden können. Diese Hilfsmittel sind Systeme von Linien, welche die Meridiane und Parallelkreise des abzubildenden Erdtheils vorstellen, und in welche alle bemerkenswerthen Punkte nach ihren geographischen Längen und Breiten eingezeichnet werden. Die Abbildung eines Landes nun, welche sich auf ein solches Liniennetz gründet, nennen wir eine Karte desselben, eine Landkarte.

§. 8. **Eintheilung.** Man pflegt die Vermessungskunde in eine niedere und höhere einzutheilen und zu jener das Aufnehmen solcher Landstrecken, bei welchen die Erdkrümmung nicht in Betracht kommt, zu dieser aber die grösseren Landesvermessungen und die Gradmessungen, welche die Ermittlung der Erdgestalt bezwecken, zu rechnen. Mit anderen Worten: man rechnet zur niederen Messkunst das Aufnehmen der Pläne und zur höheren die Herstellung der Karten.

Diese Eintheilung ist zunächst einseitig, insofern sie nur auf einen Theil der Vermessungskunde, die Geodäsie Rücksicht nimmt, und die übrigen Theile bald da bald dorthin weist. Sie ist aber auch überflüssig. Denn da sie eigentlich doch nichts anderes als eine Trennung der einfacheren Messungen und Rechnungen von den schwierigeren bewirken will, so lässt sich dieser Zweck auch dadurch erreichen, dass man, von einer natürlichen Eintheilung ausgehend und in jeder Abtheilung vom Einfachen zum Zusam-

<sup>1</sup> Ein nur im Massstabe von 1:400 000 ausgeführter Globus hat schon 10 Fuss Durchmesser.



äussersten Endpunkte der ausgespannten Hand (Spanne), die Länge eines Arms (Elle), die Länge der beiden seitwärts gestreckten Arme (Klafter), u. s. w. Eben so wurden die Flächenmasse, wo sie sich nicht auf die vorausgehenden Längeneinheiten stützten, von ganz zufälligen Dingen entlehnt, so z. B. die Feldmasse von der Arbeitsleistung der Menschen oder Thiere in einer bestimmten Zeit, oder von der Menge Aussaat an Getreide u. dgl. mehr, wie schon die Namen der Flächeneinheiten des genannten Masses: Morgen, Tagwerk, Mannsmahd, Joch, Scheffel etc. andeuten.

Nicht weniger willkürlich als mit der Festsetzung der Masseinheit verfuhr man mit der Zusammensetzung derselben zu grösseren Einheiten, oder mit ihren Unterabtheilungen. Hier bildeten 12, dort 15, dort 16 Fuss eine Ruthe; hier 6, dort 7 und anderswo 8 Fuss eine Lachter. Bei den Unterabtheilungen huldigte man bald dem System des fortgesetzten Halbirens, wodurch man Halbe, Viertel, Achtel, Sechzehntel erhielt; bald zerfiel man die Einheit nach dem Duodecimalsystem in Halbe, Drittel, Viertel, Sechstel, Zwölftel. Von dem Wirrwarr, der dadurch entstand, kann man einen Begriff bekommen, wenn man ältere und namentlich deutsche Massstabellen durchsieht.

Um diesem Gewirre zu entrinnen, ging schon seit dem 17. Jahrhundert das Bestreben mehrerer Gelehrten und einiger Staatsregierungen dahin, eine von individuellen Zufälligkeiten unabhängige Masseinheit, ein sogenanntes Naturmass aufzufinden, das, wenn es verloren ginge, jederzeit wieder bestimmt werden könnte, insofern sich nur seine Definition durch Ueberlieferung erhielte. Zu dem Ende wurden verschiedene Längen in Vorschlag gebracht: zu Ende des 17. Jahrhunderts von Huyghens die Länge des einfachen Secundenpendels; in der Mitte des 18. Jahrhunderts von A. Böhm der Fallraum eines Körpers während der ersten Secunde; endlich zu Ende des 18. Jahrhunderts von einer aus Borda, Lagrange, Laplace, Monge und Condorcet bestehenden Commission der Pariser Akademie der Wissenschaften die Länge des zehnmillionsten Theils eines Erdquadranten oder des elliptischen Meridianbogens vom Aequator bis zum Pole.

Zur Ausführung eines dieser drei Vorschläge war für Frankreich in dem letzten Jahrzehnt des vorigen Jahrhunderts ein günstiger Zeitpunkt eingetreten und es wurde derselbe auch von der damaligen Nationalversammlung benützt, indem sie sich im Jahre 1790 für die Pendellänge als Masseinheit erklärte. Nachdem man aber in der Veränderlichkeit dieser Länge mit der Lage des Ortes, an welchem sie bestimmt wird, und in dem Umstande, dass die Längeneinheit von einer ihr ungleichartigen Masseinheit, jener der Zeit, abhängig gemacht würde, Schwierigkeiten fand, die sich nicht beseitigen liessen, nahm dieselbe Versammlung drei Jahre später den Vorschlag der oben genannten Commission an, damit man, wie sie sich ausdrückte, ein unveränderliches Mass erhalte, bei dessen Bestimmung nichts zu Grunde liege, was willkürlich oder den Verhältnissen irgend eines Volks besonders angepasst sei.

Die Genauigkeit dieses Masses hing von der Schärfe ab, mit welcher





syblen bezeichnet. Demnach heisst der zehnte Theil eines Meters Decimeter, der hundertste Theil Centimeter, der tausendste Theil Millimeter, der zehntausendste Theil Decimillimeter u. s. w. Zehn Meter geben einen Dekameter, hundert einen Hektometer, tausend einen Kilometer, zehntausend einen Myriameter u. s. w.

Als Zeichen des Meters gilt der Buchstabe m, welcher der zugehörigen Zahl in Form eines Exponenten beigefügt wird; z. B. 18 Meter =  $18^m$ . Die Unterabtheilungen werden entweder durch Decimalbrüche oder durch Zusammenstellung der Anfangsbuchstaben ihrer Vorsylben mit dem Buchstaben m angedeutet, so dass z. B. ein Decimeter durch  $0^m, 1$  oder  $1^{dm}$ , 1 Centimeter durch  $0^m, 01$  oder  $1^{cm}$ , 1 Millimeter durch  $0^m, 001$  oder  $1^{mm}$  bezeichnet werden kann. Für die Vielfachen des Meters bedarf man begreiflicherweise keiner besonderen Zeichen.

Die Quadrate der Längenmasse geben die Flächenmasse. Als Zeichen derselben dient ein dem m beigefügtes q (von quarré, Quadrat), und es bedeutet demnach z. B.  $5^{mq}$  fünf Quadratmeter. Die Flächeneinheit der Feldmasse heisst Are (von arare, pflügen) und ist einem Quadratdekameter oder hundert Quadratmetern gleich. Die auf einander folgenden Unterabtheilungen heissen: Deciare, Centiare, Milliare, und die Zusammensetzungen: Dekare, Hektare, Kiliare.

Als Körpermasse gelten die Würfel der Längenmasse. Ihr Zeichen ist ein dem m beigesetztes c (von cube, Würfel), so dass  $5^{mc}$  fünf Kubikmeter bedeutet. Für Brennholz hat der Kubikmeter den besonderen Namen Stère (von στερεός, fest); und für Flüssigkeiten bildet der Cubikdecimeter die Einheit, welche Liter (litre) heisst. Dieser Name ist von λίτρα, das ein bestimmtes griechisches Gewicht von ungefähr einem Pfunde bezeichnet, genommen und passt für ein Hohlmass insofern, als das Gewicht eines Liter reinen Wassers im Zustande seiner grössten Dichtigkeit bei  $+ 4^{\circ} C$  die am häufigsten gebrauchte Gewichtseinheit, das Kilogramm, welches 2 deutschen Zollpfunden gleich ist, bestimmt. Die eigentliche Gewichtseinheit in Frankreich heisst Gramm und ist gleich dem Gewichte eines Cubikcentimeters Wasser von der vorhin angegebenen Beschaffenheit; 1000 Gramme geben 1 Kilogramm. Näheres über die Gewichte gehört nicht hierher.

Das französische Masssystem, welches in Frankreich seit 1799 gilt, ist seit 1803 in Italien, seit 1821 in Belgien und Holland, seit 1859 in Spanien, seit 1872 im Deutschen Reiche gesetzlich eingeführt, während es in Oesterreich-Ungarn mit dem 1. Januar 1876 ins Leben tritt und in England zur Zeit noch facultativ ist. Dasselbe wird sich in kurzer Zeit über alle Culturstaaten der ganzen Erde verbreitet haben; dafür spricht die Abhaltung einer internationalen Conferenz (der Metercommission), welche in den Monaten September und October 1872 in Paris stattfand, und nicht bloss von allen europäischen, sondern auch von nord- und südamerikanischen Staaten beschickt war. Zwar handelte es sich bei den Berathungen



ruthe = 10 Fuss = 100 Decimalzoll = 1000 Decimallinien. Eine bayerische Meile (= 2 Poststunden = 25406 Fuss bayr.) ist um 15,6 bayr. Fuss kleiner als 1 geographische Meile, wovon 15 auf 1 Aequatorgrad gehen. Der Quadratfuss bildet die Einheit des Flächenmasses für den gewöhnlichen Verkehr, und das Tagwerk zu 40 000 Quadratfuss für Feldmessungen. Den 100sten Theil eines Tagwerks von 400 Quadratfuss Inhalt nennt man eine Decimale, und es werden alle kleineren Feldflächen in Zehntel- und Hundertel-Decimalen ausgedrückt.

**Braunschweig.** Der Fuss hat 12 Zoll zu 12 Linien und ist = 0,285362 Meter = 126,5 Pariser Linien; 2 Fuss geben 1 Elle und 16 Fuss oder 8 Ellen 1 Ruthe = 2024 Pariser Linien ( $\log = 3,3062105$ ), welche beim Feldmessen in Zehntel- und Hundertelruthen abgetheilt wird; 1625 solcher Ruthen oder 26 000 Fuss bilden 1 Meile. Die Lachter enthält 968,5 braunschw. oder 850,8 Pariser Linien und wird in 8 Spann zu 10 Lachterzoll à 10 Primen eingetheilt. Der Morgen hat 120 Quadratruthen à 256 Quadratfuss.

**Hannover.** Die Längeneinheit ist der Fuss = 0,2920947 Meter = 129,4844 Pariser Linien. Er wird zwölftheilig in Zoll und Linien und die aus 16 Fuss oder 2071,7504 Pariser Linien ( $\log = 3,3163374$ ) bestehende Ruthe für Feldmessarbeiten in Zehntel-, Hundertel- und Tausendstel-Ruthen eingetheilt. Beim Nivelliren müssen die Höhenunterschiede in Fussen und D. D. Zollen ausgedrückt werden. Die im Bergbau übliche Lachter ist 78,082 hann. D. D. Zoll und wird in 8 Achtel, jedes zu 10 Zoll à 10 Linien getheilt. Die Meile ist = 1587,5 Ruthen = 7419,206 Meter und es gehen 14,976 auf 1 Grad des Aequators. Das Flächenmass besteht aus den Quadraten des Längenmasses; der Morgen hat 120 Quadratruthen à 256 Quadratfuss oder 2621 Quadratmeter.

**Hessen-Cassel.** Der kurhessische Fuss ist = 0,287699 Meter = 127,536 Pariser Linien = 11 rheinl. Zollen und wird nach dem Duodecimalsystem eingetheilt. Der alte Casseler oder Katasterfuss, welcher noch bei Feldmessungen im Gebrauche ist, enthält 0,2849 Meter oder 126,3 Pariser Linien. Eine (Kataster-) Ruthe ist = 14 alte Casseler Fuss = 3,98876 Meter = 1768,2 Pariser Linien ( $\log = 3,2475314$ ). Diese Ruthe wird in 10 Decimalfuss zu 10 Decimalzollen à 10 Decimallinien eingetheilt. Die Quadratruthe hält 196 alte Quadratfuss und 150 solche Ruthen geben 1 Acker, die Einheit der Feldflächen.

**Hessen-Darmstadt.** Die Längeneinheit ist der Zoll, welcher 25 Millimeter oder 11,0824 Pariser Linien misst ( $\log = 1,0446338$ ). Er wird zehnthellig abgetheilt und zusammengesetzt: 10 Zoll bilden 1 Fuss, 10 Fuss 1 Klafter und 3000 Klafter 1 Meile. Die Quadratklafter zu 100 Quadratfuss bildet die Einheit des Flächenmasses für alle Räume mit Ausnahme der Grundstücke, für welche der Morgen zu 400 Quadratklaftern oder 2500 Quadratmetern, der in 4 Viertel getheilt wird, die Einheit ist.

**Nassau.** Für Feldmessungen gilt ein in 10 Zolle getheilter Fuss, welcher = 0,5 Meter = 221,648 Pariser Linien ist ( $\log = 2,3456638$ ); die



französische Masssystem mit dem Jahre 1876 gesetzlich eingeführt. Zur Zeit bildet noch die Klafter die Einheit des Längenmasses. Dieselbe misst 1,8964838 Meter ( $\log = 0,2779491$ ) oder 870,7043 Pariser Linien ( $\log = 2,9246430$ ). Der sechste Theil der Klafter heisst Fuss, und es wird dieser für den gewöhnlichen Verkehr nach dem Duodecimalsystem in Zolle, Linien und Punkte abgetheilt, so dass  $1' = 12'' = 144''' = 1728''''$ . Für Feldmessungen ist das Decimalsystem eingeführt, wonach 1 Klafter = 10 Feldschuh = 100 Feldzoll = 1000 Feldlinien ist. Beim Bergwesen heisst die Einheit des Längenmasses Lachter, und es besteht zwischen dieser und der Klafter gar kein Unterschied; für Markscheidungen wird sie zehnthellig zerlegt. Eine Meile ist =  $4000^0$  (Klafter) =  $24000'$  (Wiener Fuss). Für den gewöhnlichen Verkehr bildet die Quadratklafter zu 36  $\square$  Fuss die Flächeneinheit, für Feldmessungen aber das Joch zu  $1600 \square^0 = 57600 \square'$ .

§. 14. Schweizerische Masse. Die Längeneinheit der schweizerischen Masse ist der Fuss, welcher wie in Baden 0,3 Meter oder 132,989 Pariser Linien enthält und in 10 Zoll zu 10 Linien à 10 Strichen eingetheilt wird; 2 Fuss geben 1 Elle, 4 Fuss 1 Stab, 6 Fuss 1 Klafter, 10 Fuss eine Ruthe. Letztere, gerade 3 Meter lang, ist der waadtländischen Toise gleich. Die Wegstunde hat 16000 Fuss oder 4800 Meter. Bisher war theils die Züricher Wegstunde zu 4520,7 Meter, theils die Berner von 5278,6 Meter Länge im Gebrauch. Die Quadrate der Längenmasse geben die Einheiten der Flächenmasse. Bei technischen Messungen wird den Längen die Klafter und den Flächen die Quadratklafter zu 36 Quadratfuss zu Grunde gelegt. Die Quadratruthe = 100 Quadratfuss = 9 Quadratmeter dient als Feldmass für kleinere Flächen; grössere werden nach Juchart zu 40 000 Quadratfuss = 400 Quadratruthen = 36 franz. Aren ausgedrückt. Obwohl der Schweizer Fuss in einem einfachen Verhältnisse zum Meter steht und decimal abgetheilt ist, so geht man in der Schweiz doch damit um, das reine metrische System als Massordnung einzuführen.

§. 15. Englische Masse. Die Längeneinheit des englischen Masses, der Yard, soll bereits im Jahre 1101 durch König Heinrich I., welcher die Länge seines Arms dafür gelten liess, eingeführt worden sein. Nachdem seit jener Zeit gegen 200 Gesetze über Massbestimmungen erschienen waren, wurde schliesslich die Länge des Secundenpendels, welche auf dem Meeresspiegel in der Breite von London 405,3425 Pariser Linien beträgt, als die unveränderliche Grundlage des englischen Masssystems angenommen und durch die Parlamentsacte vom 17. Juni 1824 der von dem Mechaniker Bird verfertigte und mit „Standard Yard 1760“ bezeichnete Massstab als derjenige erklärt, welcher bei  $62^0$  F durch den Abstand zweier auf goldenen Stiften befindlichen Punkte das englische Normalmass darstellt. Dieser Massstab verbrannte im Jahre 1829 mit dem Parlamentsgebäude und ist seitdem durch einen neuen ersetzt worden, welcher sich ebenfalls auf das angeführte Gesetz gründet und dessen 1760fache Länge die englische Meile darstellt. (Hieraus erklärt sich die Zahl 1760 neben der Bezeichnung „Standard Yard.“)

Der englische Yard hat eine Länge von 0,9143835 Meter oder 405,3425 Pariser Linien ( $\log = 2,6078261$ ). Sein dritter Theil, die Länge von 0,3047945 Meter oder 135,114 Pariser Linien ( $\log = 2,1307049$ ) heisst Fuss und wird in 12 Zolle, der Zoll in 12 Linien, die Linie in 12 Punkte getheilt;  $16\frac{1}{2}$  Fuss oder  $5\frac{1}{2}$  Yard bilden 1 Ruthe (rod oder pole), 66 Fuss = 22 Yard = 4 Ruthen geben 1 Kette (chain); 5280 Fuss = 1760 Yards = 320 Ruthen = 8 Furlongs sind = 1 Meile (mile). Die Kette ist die Längeneinheit der Feldmasse und wird für diese Messungen in 100 Glieder (links) eingetheilt, wovon demnach jedes 0,66 Fuss misst. Die Flächeneinheit dieser Masse ist der Acker (acre), welcher = 10 Quadratketten = 160 Quadratruthen = 4840 Quadratyards = 43560 Quadratfuss ist. Die Seemeile ist der sechzigste Theil eines Aequatorgrads und daher = 1855 Meter = 6085 engl. Fuss, also etwas grösser als die Landmeile und =  $\frac{1}{4}$  geogr. Meile.

In neuester Zeit wurde auch in England das metrische Masssystem, jedoch nur facultativ, eingeführt.

§. 16. **Winkelmasse.** Für die Winkelmasse bildet glücklicherweise in allen Ländern der rechte Winkel die Einheit. Er wird aber nicht überall gleich eingetheilt, indem theilweise das Decimalsystem, nach welchem der rechte Winkel in 100 Grade, jeder Grad in 100 Minuten und jede Minute in 100 Secunden getheilt wird, weit mehr aber noch das Sexagesimalsystem, wonach der rechte Winkel aus 90 Graden, jeder Grad aus 60 Minuten, jede Minute aus 60 Secunden besteht, in Uebung ist. Selbst in Frankreich konnte die Decimaltheilung nicht ganz durchdringen, weil die Astronomen sie nicht annahmen, indem die heutigen Vergleichen älterer und neuerer Beobachtungen zu bedeutende Reductionen veranlassen würden.

Die Centesimaltheilung der Winkel gewährt in der Schreibweise und bei Rechnungen dieselben Vortheile wie das Decimalsystem bei Längen-, Flächen- und Körpermassen. Ein Winkel von 74 Graden, 37 Minuten und 25 Secunden der Centesimaltheilung wird ganz einfach  $74^{\circ},3725$  geschrieben. Zur Verwandlung der Centesimal- und Sexagesimalgrade in einander dienen die Gleichungen:  $90^{\circ} S = 100^{\circ} C$ , oder  $9^{\circ} S = 10^{\circ} C$ , oder endlich  $1^{\circ} C = 0^{\circ},9 S$ . Obige  $74^{\circ},3725 C$  sind somit  $= 0,9 \times 74^{\circ},3725 = 66^{\circ},935 S = 66^{\circ}56'7''$  nach der Sexagesimaltheilung. Delambre empfiehlt folgendes Verfahren für dergleichen Verwandlungen:

Es seien in Sexagesimalgrade zu verwandeln:	46,87865625
Man ziehe hievon den zehnten Theil ab mit	4,6786562
Der Rest gibt in Sexagesimalgraden:	42 <sup>0</sup> ,1079062
Mit 60 multiplicirt, in Graden und Minuten:	42 <sup>0</sup> 6',474375
Nochmals mit 60 multiplicirt, schliesslich:	42 <sup>0</sup> 6'28'',4625
Es seien ferner in Decimalgrade zu verwandeln:	42 <sup>0</sup> 6'28'',4625
Man verwandle die Secunden in Minuten:	42 <sup>0</sup> 6',474375
Verwandle ferner die Minuten in Grade:	42 <sup>0</sup> ,10790625
Füge den neunten Theil dieser Grade hinzu mit	4,67865625
so ist die Summe beider der gesuchte Ausdruck:	46,87865625.

§. 17. **Massvergleichungen.** Da in den vorhergehenden Paragraphen die gesetzlichen Längeneinheiten verschiedener Länder in Pariser Linien angegeben sind, von denen 864 auf 1 Toise (toise du Pérou) und 443,296 auf 1 Meter gehen, so kann man mit nachfolgenden Zahlen leicht ein Mass in ein anderes verwandeln. Es ist

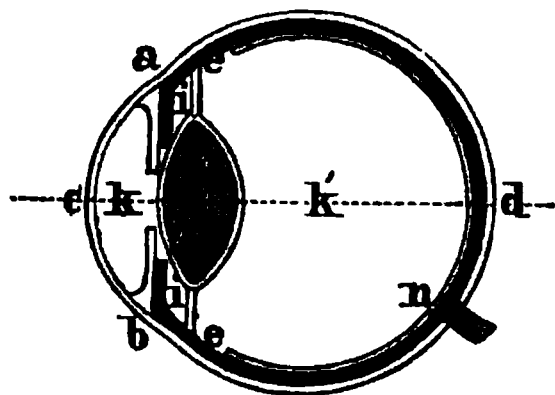
1 Toise = 864''' P ( $\log = 2,9365137$ ) = 1<sup>m</sup>,949036 ( $\log = 0,2898199$ ),  
 1 Par. Fuss = 144''' P ( $\log = 2,1583624$ ) = 0<sup>m</sup>,3248394 ( $\log = 9,5116686$ ),  
 1 Par. Zoll = 12''' P ( $\log = 1,0791812$ ) = 0<sup>m</sup>,0270699 ( $\log = 8,4324874$ ),  
 1 Par. Linie = 1''' P = 0<sup>m</sup>,00225583 ( $\log = 7,353062$ ); ausserdem ist  
 $\log 443,296 = 2,6466938$ ,  $\log 9 = 0,9542425$ ,  $\log 6 = 0,7781513$ .

### 3. Vom Sehen mit dem freien Auge.

§. 18. **Bau des Auges.** Ohne richtige Vorstellung von dem Baue des menschlichen Auges und dem Hergange des Sehens ist die Einrichtung und Wirkungsweise mehrerer Messinstrumente nicht vollständig zu beurtheilen, wesshalb hierüber Einiges mitgetheilt wird.

Der Haupttheil des Auges ist der Augapfel, von dem Fig. 1 einen Durchschnitt vorstellen soll. Derselbe liegt in einer Höhle des Kopfknochens auf einer weichen elastischen Fettmasse und kann durch Muskeln, welche ihn an die Höhle binden, innerhalb gewisser Grenzen nach allen Richtungen hin bewegt werden. Man kann sich ihn aus zwei Kugelabschnitten (a b c, a b d) von ungleichen Halbmessern, die sich an ihrer Grundfläche (a b) berühren, zusammengesetzt denken. Der grössere Abschnitt ist von einer weissen undurchsichtigen Haut a d b (tunica sclerotica) und der kleinere von einer hellen durchsichtigen Haut a c b (tunica cornea), welche mit jener auf's Innigste verbunden ist, eingeschlossen. An die innere Seite der harten Haut a d b schliesst sich zunächst eine nur aus Zellgewebe und Adern bestehende, von einem schwarzbraunen zähen Stoffe durchdrungene zarte Hülle, die Aderhaut (tunica choroidea) an, und darüber breitet sich ein feines netzartiges Nervengeflechte, die Netzhaut (tunica nervea s. retina), aus, welche als ein Ausläufer des bei n in das Auge gelangenden und aus dem Gehirne kommenden Sehnervs betrachtet werden kann. Die beiden den Augapfel bildenden Abschnitte werden durch eine aus Adern, Nerven- und Muskelfasern bestehende Haut a b, die Iris, getrennt. Dieselbe erscheint als eine Fortsetzung der Aderhaut und hat in der Mitte ein kleines Loch, das die Pupille oder Augenöffnung heisst. Die beiden durch die Iris geschiedenen Theile des Augapfels sind mit durchsichtigen Flüssigkeiten ausgefüllt, von denen die in der Vorderkammer (k) die wässerige Feuchtigkeit (humor aqueus) und die in der Hinterkammer (k') die Glasfeuchtigkeit (humor

Fig. 1.



, in einer häutigen durchsichtigen  
 en (e, e) gehalten wird, befindet  
 : Krystalllinse heisst. Die Sub-  
 g dicht, sondern in den äusseren  
 d in den mittleren oder dem Kerne  
 brechend und sehr elastisch. Die  
 en als nach Aussen, indem (nach  
 äche durchschnittlich 9 und jener

lt D in Fig. 2 einen leuchtenden  
 ) liegt, so dringt der von jenem  
 im Theil in das Auge. Es wird  
 e b) auffallende Licht wegen der  
 treut und das zwischen a und b  
 die wässerige Feuchtigkeit in der  
 Axe hin (D u d, D v d). Von den  
 so gebrochenen Strahlen trifft ein  
 Theil auf die Iris und macht ihre  
 Farbe und ihr Gefüge sichtbar,  
 während der andere durch die  
 Pupille zur Krystalllinse gelangt,  
 wo er eine zweite Brechung er-  
 fährt, auf die eine dritte von Seite  
 der Glasfeuchtigkeit folgt. Durch  
 diese verschiedenen Brechungen  
 Strahlen in dem Punkte d der  
 ;, wenn das Auge gesund ist und  
 lleren Sehweite von 250 Milli-  
 ung des leuchtenden Punkts, oder  
 re, würde das Bild d hinter oder  
 n. In gleicher Weise erzeugt sich  
 xe liegt, ein Bild in dem Punkte  
 erbindungslinie des Punkts E mit  
 erhält. Was von E gilt, ist für  
 folglich bildet sich wie bei einer  
 zhaut wieder als solche, aber in  
 n man sich durch Versuche mit  
 mentlich der Ochsen) leicht über-

ines Gegenstands reizt den Sehnerv  
 lie Empfindung des Sehens hervor.  
 ehren Stellung seines Bilds, wie  
 sehen, so kann man billigerweise  
 agen. Man erklärte dieselbe aber



genügend durch die gewiss nicht unnatürliche Annahme, dass die Sehnerven nicht bloss jeden Eindruck auf die Netzhaut, sondern auch die Richtung, in welcher der Eindruck erfolgt, zu unserem Bewusstsein bringen und wir alsdann das Empfundene in derselben Richtung nach Aussen versetzen. Da wir nun z. B. den Eindruck des Bilds  $e$  in der Richtung  $E e$  empfangen, so versetzen wir das Bild  $e$  in der Richtung  $e E$ , folglich über  $D$ , welches in der Richtung  $d D$  gedacht wird.

§. 20. Deutliches Sehen. Der Gegenstand, welcher sich auf der Netzhaut des Auges abbildet, wird nur dann vollständig wahrgenommen werden, wenn sein Bild eine hinreichende Deutlichkeit, Helligkeit, Grösse und Dauer besitzt.

Zur Deutlichkeit gehört erstens, dass das Auge keine merkliche Kugel- und Farbenabweichung hat, damit sich jeder leuchtende Punkt wieder als solcher abbildet, und zweitens, dass jeder Bildpunkt gerade auf der Netzhaut liegt. Der Kugelabweichung ist theils durch die Iris, welche als Blende nur auf einen kleinen Theil der Krystalllinse Licht fallen lässt, theils durch die Form dieser Linse und die Wölbung der Netzhaut vorgebeugt; was aber die Farbenabweichung betrifft, so wird diese zwar durch die verschiedenen Brechungs- und Zerstreuungsverhältnisse der durchsichtigen Mittel des Auges grösstentheils, jedoch nicht ganz aufgehoben, wie man an einem dunklen Gegenstande beobachten kann, der nur wenige Zolle vom gesunden Auge entfernt gehalten wird, während dieses gleichzeitig an dem Gegenstande vorbei nach einem weiter entfernten Objecte sieht: der dunkle Gegenstand hat an den Rändern farbige Säume. Wegen der zweiten Anforderung sehe man §. 21.

Die Helligkeit des Bilds hängt von der Lichtmenge ab, welche vom Gegenstande in's Auge gelangt. Diese Lichtmenge richtet sich aber nach der Stärke des Lichts und nach der Grösse der Pupille; bei gleicher Stärke ist sie der Pupillenfläche und bei unveränderlicher Pupille der Stärke proportional. Die Pupille ist indessen nicht unveränderlich: sie zieht sich nämlich bei starkem Lichte zusammen und dehnt sich bei schwachem aus, so dass in dem ersteren Falle weniger und in dem letzteren mehr Licht in das Auge gelangt, als bei einer mittleren Oeffnung hineingelangen würde. Dieses Ausdehnen und Zusammenziehen hat übrigens ziemlich enge Grenzen, weshalb bald wegen zu starken bald wegen zu schwachen Lichts kein Sehen mehr möglich ist.

Was die Grösse des Netzhautbilds betrifft, so muss dasselbe unter gewöhnlichen Umständen erfahrungsgemäss wenigstens 0,02 Millimeter betragen, wenn es noch auf die Sehnerven wirken soll; in aussergewöhnlichen Fällen, wenn nämlich entweder die Beleuchtung des Gegenstands sehr stark und sein Hintergrund dunkel, oder wenn die Netzhaut besonders empfindlich ist, kann die Grösse des Bilds viel weniger als 0,02<sup>mm</sup> betragen. So sehen wir z. B. die Fixsterne deutlich, obwohl ihre Bilder auf der Netzhaut vielleicht nur 0,0002<sup>mm</sup> Durchmesser haben. Die Grösse der Bilder auf der

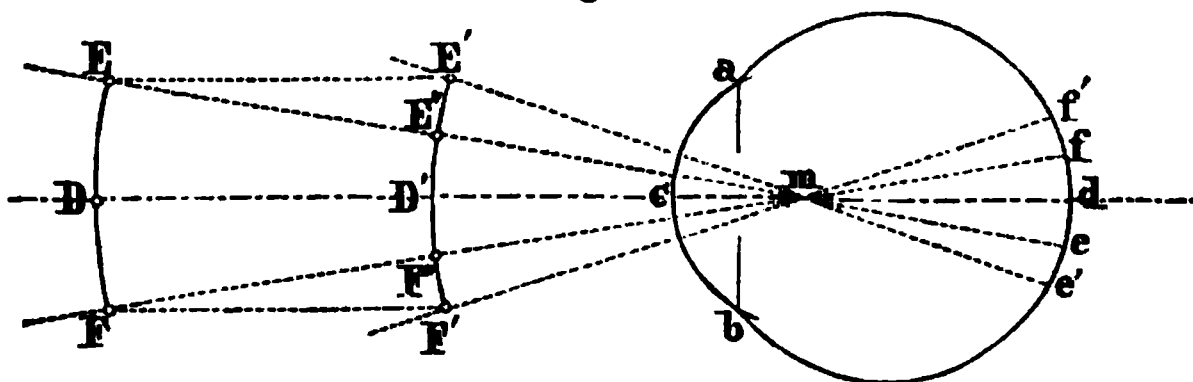


vom Auge weg halten, das Bild ebenfalls hinter der Netzhaut, wesshalb sie es auf diese zu bringen suchen, indem sie den Gegenstand so lange entfernen, bis sie ihn deutlich erkennen. Kurzsichtige Augen vereinigen die von einem 220 bis 280 mm entfernten Gegenstande kommenden Strahlen vor der Netzhaut; nähert man aber diesen Gegenstand dem Auge immer mehr, so wird er an einer bestimmten Stelle am deutlichsten gesehen, und in dieser Stellung trifft sein Bild gerade auf die Netzhaut.

§. 22. **Scheinbare Grösse.** Wir beurtheilen die Grösse der Gegenstände, welche wir mit freiem Auge betrachten und an denen wir keine eigentliche Messung vornehmen, nach der Ausdehnung des Bilds, welches sie auf der Netzhaut des Auges erzeugen, und daher können wir diese Ausdehnung, welche sich bei gleicher Entfernung direct mit der Grösse, und bei gleicher Grösse umgekehrt mit der Entfernung der Gegenstände ändert, deren scheinbare Grösse nennen. Dass diese proportionale Aenderung stattfindet, ist durch viele Versuche an Menschen- und Thieraugen dargethan. Diese Versuche lehrten, dass die Verbindungslinien irgend welcher Punkte eines Gegenstands mit deren Netzhautbildern sich alle in einem und demselben Punkte des Auges, der hinter der Krystalllinse nahe in der Mitte des Augapfels liegt und Kreuzungspunkt heisst, schneiden.

Bezeichnet (in F. 3) m diesen Punkt und EF irgend einen Gegenstand, so ist e f dessen Bild auf der Netzhaut. Rückt dieser Gegenstand dem Auge näher in

Fig. 3.



die Stellung E' F', so wird sein Bild e' f' in dem Masse grösser als e f, in welchem der Abstand m D' kleiner ist als m D. Bleibt aber der Gegenstand in der Entfernung m D' und nimmt seine Grösse von E' F' bis auf E'' F'' ab, so wird sein Bild in e f in dem gleichen Verhältnisse dieser Abnahme kleiner als e' f', wie sich aus ganz einfachen geometrischen Sätzen ergibt. Um diese Aenderungen auf die einfachste Weise zu übersehen, fassen wir sie in einem analytischen Ausdruck zusammen. Bezeichnet nämlich

H die Grösse des Gegenstands E F,

E dessen Abstand D m vom Kreuzungspunkte,

h die Grösse des Netzhautbilds e f, und

e dessen Abstand d m vom Kreuzungspunkte,

so verhält sich, weil die beiden Kreisausschnitte E m F und e m f ähnlich sind,  $H : h = E : e$ , und es ist folglich die scheinbare Grösse

$$h = e \frac{H}{E} . \quad (3)$$

Der Abstand e ist für ein und dasselbe Auge eine unveränderliche Grösse, und die Kreisbögen EF und ef können so lange, als die betrachteten

als gerade Linien gelten, weil  
utlich zu sehen sind, für welche  
die Bögen  $E F$ ,  $e f$  im Vergleich

man den Seh- oder Gesichts-  
scheinbare Grösse eines Gegen-

Da nach §. 20 unter gewöhn-  
noch erkannt wird, wenn sein  
so lässt sich hienach der kleinste  
l e bekannt ist. Dieser Abstand  
den, wenn man die Entfernung  
r Gegenstand vom Durchmesser  
inkem Hintergrunde gerade ver-  
einste Schwinkel schon bestimmt,





§. 23. Die Genauigkeit geometrischer Arbeiten hängt vorzugsweise von der Beschaffenheit der Messwerkzeuge und der Einsicht und Geschicklichkeit ab, womit sie gehandhabt werden. Es muss deshalb der praktische Geometer vor allen Dingen seine Instrumente genau kennen, d. h. er muss wissen, wie sie eingerichtet sind, auf welchen Principien oder Naturgesetzen diese Einrichtung beruht und wie davon ihre Wirkungsweise abhängt; er muss ferner die Instrumente prüfen können, ob sie den Anforderungen, die sie befriedigen sollen, überhaupt genügen, oder in welchem Grade der Genauigkeit es der Fall ist; er muss auch seine Messwerkzeuge zu berichtigen oder diejenigen Unvollkommenheiten derselben zu beseitigen verstehen, welche sich durch besondere hiefür bestimmte Vorrichtungen wegschaffen lassen; und endlich muss er wissen, wie man die Instrumente gebraucht, um auf die vortheilhafteste Weise den Zweck zu erreichen, für den sie bestimmt sind.

Die Anleitung zum Erlangen dieser Kenntnisse nennen wir Instrumentenlehre. Dieselbe ist somit die wissenschaftliche Begründung und Beschreibung des Baues, der Prüfung, der Berichtigung und des Gebrauchs der Messwerkzeuge. Von der Ansicht ausgehend, dass diejenige Zusammenstellung der Instrumente die beste ist, welche die klarste Uebersicht der Hilfsmittel der Vermessungskunde gewährt, und um die Wiederholungen zu vermeiden, welche sich ergeben würden, wenn man nicht die wesentlichsten Bestandtheile der Messwerkzeuge besonders betrachtete, theilen wir die Instrumentenlehre in folgende sechs Abschnitte ein:

1. Bestandtheile der Messinstrumente.
  2. Mittel zur Bezeichnung der Punkte auf dem Felde.
  3. Instrumente zum Messen der Winkel.
  4. Instrumente zum Messen der Längen.
  5. Instrumente zum Messen der Höhen.
  6. Instrumente zum Messen der Geschwindigkeiten.
-

r Messinstrumente.

## bschnitt.

### Messinstrumente.

umente zerlegt, so findet man, dass  
agen eine eigene Lebensfähigkeit be-  
sen Messverrichtungen geeignet sind,  
ellung dieser Theile oder deren Ver-  
Bestandtheile höherer Art, von denen  
kenntnis der übrigen am einfachsten  
ung und Beschreibung jedes Instru-  
r folgenden Aufgaben zu lösen: näm-  
oder loth- und wagrechte Richtungen  
grössere ferne Gegenstände deutlich  
hr kleine Theile von geraden Linien  
ieser ihrer Bestimmung werden die-

### von Visir- oder Abschlinien.

chen einem leuchtenden Punkte und  
es Punkts. Ein freiliegender Punkt  
Seiten aus und kann folglich überall  
einer Richtung, in der man ihn er-  
s angeben, so gehört dazu eine Vor-  
deren Lage bekannt ist, eine Gerade  
racht werden kann. Diese Gerade  
linie. Die Träger solcher Linien  
n die sie bestimmenden Punkte auf  
kann. Die bis jetzt gebräuchlichen  
n sind die Fernrohre, die Diopter,  
r werden aber zunächst nur die drei  
es unser Zweck fordert, behandeln  
iejenigen Mittel, wodurch entfernte  
i werden, betrachten.

### dipter.

1g. Jedes Diopter besteht aus zwei  
v. Das Ocular ist der Träger des-  
er bei der Beobachtung dem Auge  
ler Träger des zweiten entfernteren



Punkts dieser Linie. Beide Theile sind in der Regel fest mit einander verbunden, in einzelnen Fällen stehen sie aber auch lose nebeneinander.

Fig. 4.



Vorstehende Figur stellt ein Dioptr der letzten Art vor: A ist das Ocular, B das Objectiv. Beide bestehen aus einer Grundplatte ( $p, p'$ ) und einem senkrecht darauf befestigten Flügel ( $f, f'$ ). In A ist eine kleine runde Oeffnung  $a$  (das Schauloch) zum Durchsehen und in der grösseren viereckigen Oeffnung von B ein Fadenkreuz ( $c$ ) angebracht. Die Mitte des Schauloches und der Schnittpunkt des Fadenkreuzes bestimmen die Absehlilie. Soll dieselbe mit den Grundebenen von A und B parallel laufen, so müssen die Abstände der Punkte  $a$  und  $c$  von den Grundflächen der Platten  $p$  und  $p'$  genau gleich sein. Ob sie es sind, kann man durch folgendes Verfahren finden.

Man stelle die Dioptr A und B auf einer festen Ebene etwa 8 Zoll (25 cm) auseinander und bemerke auf zwei ziemlich weit entfernten Stäben C und D die Punkte  $m$  und  $n$ , in welchen sie von der in ihre Richtung gebrachten Absehlilie getroffen werden; hierauf verwechsle man die Dioptr und bemerke auf einem dritten entgegengesetzt stehenden Stabe E den Punkt  $r$ , welcher von der neuen Absehlilie gedeckt wird; endlich rücke man die Dioptr aus der durch die Stäbe bezeichneten Linie und sehe zu, ob die drei Punkte  $n, m, r$  in einer Geraden liegen oder nicht. Findet eine Deckung dieser Punkte statt, so sind die Dioptr richtig, wo nicht, so muss das leicht zu erkennende höhere so lange abgeschliffen werden, bis die zweite Absehlilie mit der ersten genau zusammenfällt, vorausgesetzt, dass der Kreuzungspunkt  $o$  oder das Schauloch  $a$  nicht verstellbar sind.

(Die Punkte  $m, n, r$  auf den Stäben C, D, E erhält man am einfachsten dadurch, dass man auf jedem lothrecht in dem Boden steckenden Stabe eine roth und weiss angestrichene Marke von Blech so lange auf und ab schieben lässt, bis ihre Mitte in die Absehlilie fällt.)

Fig. 5.



Die beigezeichnete Figur gibt ein Bild von einem Dioptr der ersten Art. Die Flügel  $f$  und  $f'$  sind hier mit einem Lineale ( $l$ ) so verbunden, dass sie bei dem Gebrauche senkrecht darauf stehen, ausserdem aber mit Hilfe von Charniren umgeklappt



führt werden. Hier ist nur noch zu bemerken, dass diejenigen Diopter, deren Objective und Oculare durch eine inwendig geschwärzte Röhre verbunden sind, ein schärferes Visiren (Zielen) gestatten als die eben beschriebenen, welche dem Seitenlichte freien Zutritt gewähren.

**§. 27. Genauigkeit der Diopter.** Ueber die mit Dioptern zu erreichende Genauigkeit des Zielens und über die Bedingungen, wovon dieselbe vorzugsweise abhängt, hat Professor Stampfer umfassende Versuche angestellt und deren Ergebnisse in dem 18. Bande der Jahrbücher des Wiener polytechnischen Instituts veröffentlicht. Nach diesen Versuchen gewähren runde Schaulöcher eine grössere Schärfe der Visur als Spalten, und es darf der Durchmesser dieser Löcher auf eine halbe Pariser Linie und die Breite der Spalten auf ein Drittel Linie steigen, ohne dass die Genauigkeit des Zielens geringer wird als bei kleineren Oeffnungen, welche man indessen bei Ritzen nicht unter ein Fünftel Linie und bei Kreisöffnungen nicht weniger als ein Drittel Linie weit machen soll.

Diese Versuche widerlegten somit die früher verbreitete irrige Meinung, dass die Genauigkeit des Visirens dem Winkel proportional sei, welcher sich durch die Weite des Oculars und seine Entfernung vom Objectiv bestimmt; ein Winkel, der manchmal mehrere Minuten beträgt und der parallaktische Winkel genannt wird. Die Genauigkeit nimmt nur dann ab, wenn die Oeffnungen weiter sind als vorhin angegeben wurde. So lange sie jedoch in diesen Grenzen bleiben, kann man unter günstigen äusseren Bedingungen, d. h. bei scharfem Auge, guter Beleuchtung, dunklem Hintergrunde und reiner Luft, mit einem fehlerfreien und geschickt behandelten Diopter bis auf 10 Secunden genau visiren, wenn auch der parallaktische Winkel 5 bis 6 Minuten beträgt. Dass bis zu der angegebenen Grenze die Weite der Ocularöffnung keinen nachtheiligen Einfluss auf das Visiren äussert, erklärt sich dadurch, dass das Auge wegen der am Rande der Oeffnung stattfindenden Beugung der Lichtstrahlen, welche kein deutliches Sehen gestattet, von selbst die Mitte der Oeffnung aufsucht, wo es von dieser Beugung nicht beirrt wird.

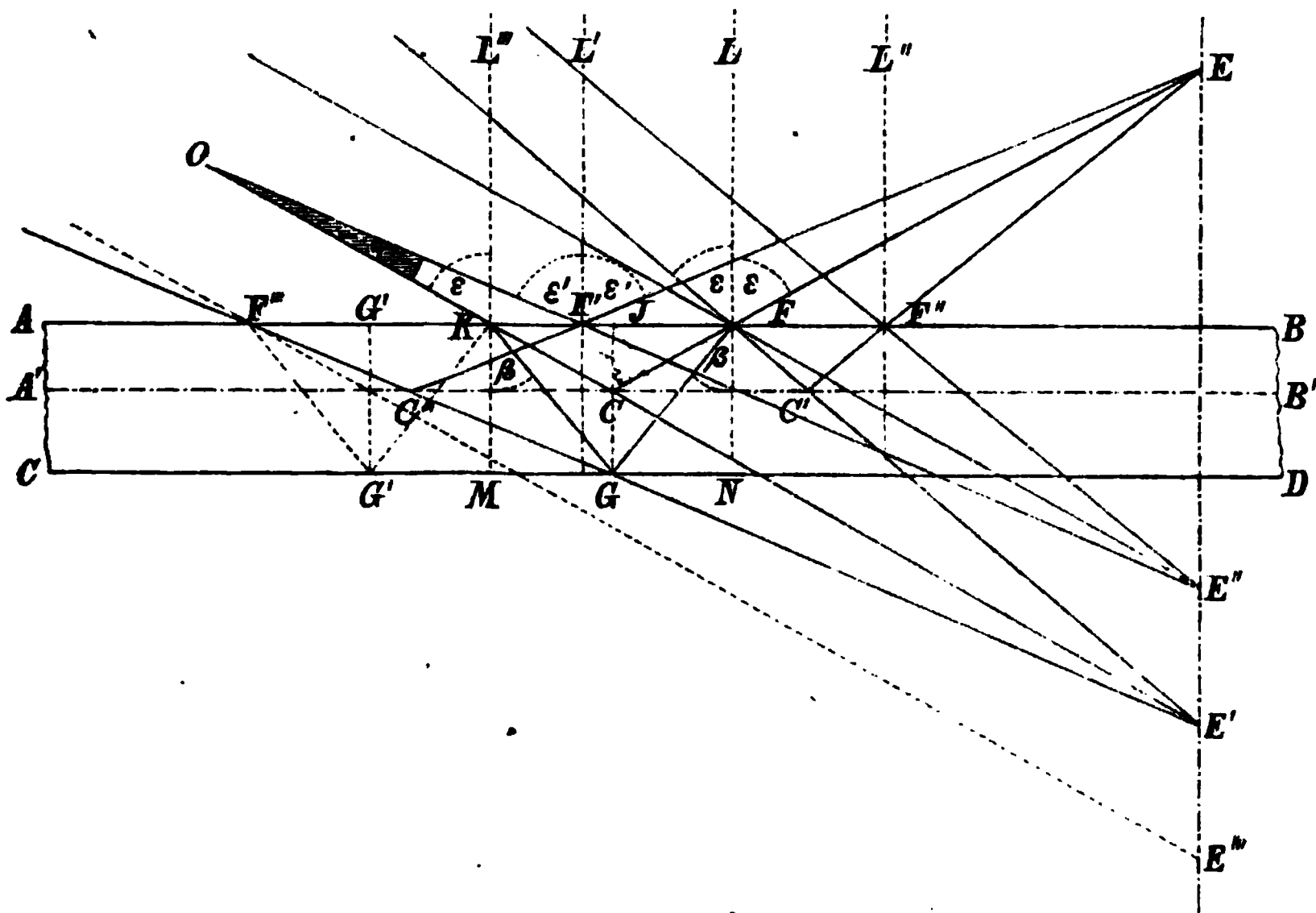
Als weitere Ergebnisse der genannten Versuche sind noch anzuführen: dass die Entfernung der Diopterflügel von einander, so lange sie nur nicht kleiner ist als die deutliche Sehweite von 8 Zoll oder 25 cm, keinen wesentlichen Einfluss auf die Genauigkeit des Zielens hat; und dass die Dicke des Objectivfadens am zweckmässigsten ist, wenn sie vom Ocular aus unter einem Sehwinkel von 1 bis 2 Minuten erscheint.

**§. 28. Ein Nachtheil der Diopter.** Die Diopter leiden an einer Unvollkommenheit, welche die Genauigkeit des Zielens sehr vermindert, aber sich nicht beseitigen lässt. Indem nämlich das Auge gleichzeitig auf den nahen Objectivfaden und den entfernten Zielpunkt sehen muss, erzeugen sich die Bilder beider nicht auf einer und derselben Stelle der Netzhaut, sondern hinter einander, wobei (nach §. 21) das des Fadens weiter zurückliegt. Es kann folglich nur eines derselben und zwar dasjenige, welches



wird bei F unter dem Winkel  $\beta$ , der sich aus dem Brechungsgesetze  $\sin \varepsilon = n \sin \beta$  ergibt, gebrochen, bei G unter dem gleichen Winkel zurückgeworfen und bei K abermals gebrochen. Da der letzte Brechungswinkel dem ersten gleich ist, so bildet der austretende Strahl K O, welcher das Bild E' von E in sich trägt, mit dem Lothe in K denselben Winkel  $\varepsilon$  wie der einfallende Strahl E F mit seinem Lothe. Beide Strahlen schneiden sich in dem Punkte C unter dem Winkel  $2\varepsilon$ , woraus man sieht, dass der Glasspiegel den eingedrungenen Strahl gerade so leitet, als ob er bloss auf die durch C gelegte mit A B parallele Ebene A' B' gefallen wäre. Der zweite Strahl E F', welcher mit dem Lothe den Winkel  $\varepsilon'$  bildet, wird unter dem gleichen Winkel  $\varepsilon'$  nach F' O zurückgeworfen. In dieser Richtung liegt ein zweites Bild von E: es heisse E". Von den zwei Bildern

Fig. 6.



E' und E'', welche der Parallelspiegel gibt, ist das erste heller als das zweite, weil jenes von Metall, dieses von Glas erzeugt wird. Diese Helligkeiten dienen zur Unterscheidung der Bilder, so lange der Spiegel in gutem Zustande sich befindet; hat aber dessen Beleg durch den Einfluss der Atmosphäre etc. Veränderungen erlitten, so ist eine Verwechslung der Bilder und folglich ein Messungsfehler von der Grösse des Winkels  $E' O E'' = \varphi$  möglich, wobei O der Augpunkt ist, welcher irgendwo im gemeinschaftlichen Raume der sich schneidenden Lichtkegel E' und E'' liegt.<sup>1</sup>

Um  $\varphi$  zu bestimmen, suche man vorerst die Lage des Schnittpunkts

<sup>1</sup> In Folge einer Abänderung der Fig. 6 sind auf Seite 32 einige falsche Bezeichnungen enthalten. Es muss nämlich in den Zeilen 7 und 3 v. u. F' für i und in den Zeilen 4 und 2 v. u. O für E' gesetzt werden.

# Bestandtheile der Messinstrumente.

seinen Abstand  $CJ$  von der Vorderfläche des Spie-  
ke, so wird

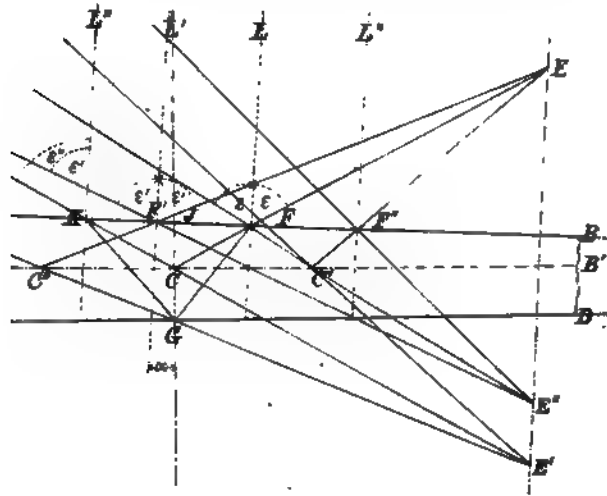
$$x \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon} = a \cos \varepsilon. \quad (4)$$

in sich, dass der Abstand  $E'E''$  der beiden Bilder  
setze die Entfernung des Auges  $O$  vom Bilde  $E' = c$   
n Dreiecke  $E'O E''$  die Gleichung:

$$n^2 - \sin^2 \varepsilon = 2 a \sin \varepsilon \cos \varepsilon = a \sin 2 \varepsilon. \quad (5)$$

ss der Winkel  $\varphi$  mit der Spiegeldicke  $a$  wächst und  
der betrachteten Gegenstände abnimmt. Um seine  
n Fällen zu überschauen, bemerken wir, dass für  
i  $a = 0,01$  der Winkel  $\varphi$  beziehlich 26,4 oder 2,6  
nachdem  $c = 50'$  oder  $= 500'$  ist. Für ausserordent-  
egenstände, wie z. B. Sterne, wird  $\varphi$  null; bei Be-

Fig. 7.



ist also die Spiegeldicke gar keinen Einfluss. Ob-  
ss in anderen Fällen zu beachten ist, hängt einzig  
rad der Genauigkeit ab, den die Lage der durch den  
bachlinien haben soll.

ang  $GK$  zurückkehrenden Lichtstrahlen treten nicht  
aus, sondern werden zum Theil wieder nach  $G'$  und  
wo derselbe Vorgang sich wiederholt, der eben in  $K$   
n sich demnach mehrere Bilder von  $E$ , welche alle  
gten und auf dem Spiegel senkrecht stehenden Ebene

Bilder immer weniger Licht erhalten und selbst bei  
den kaum das dritte Bild  $E'''$  mehr zu bemerken ist,  
ne Veranlassung zu Verwechslungen mit dem Haupt-  
shalb nicht weiter zu beachten.

§. 31. **Prismatische Spiegel.** Wir nennen diejenigen Spiegel prismatisch, deren ebene Seitenflächen unter einem kleinen Winkel ( $\alpha$ ) gegen einander geneigt sind, und untersuchen ihre Wirkungsweise in der Absicht, sie mit den eben betrachteten Parallelspiegeln zu vergleichen.

Es sei  $A B C D$  in Fig. 7 ein Durchschnitt des Spiegels mit einer Ebene, welche zur Schnittlinie der beiden Spiegelebenen  $AB$ ,  $CD$  senkrecht steht, und die Lichtstrahlen  $E F$ ,  $E F'$ ,  $E F''$  mögen in dieser Durchschnittsebene liegen. Von diesen drei Strahlen werde nur  $E F$  auf seinem Gange durch den Spiegel ganz verfolgt; die Wege der beiden übrigen werden hienach construirt. Der eindringende Strahl macht nach dem im vorhergehenden Paragraph erklärten Vorgange den Weg  $E F G K O$  und liefert in der Richtung  $OK$  das Hauptbild  $E'$ .

Von dem nach  $E F$  einfallenden und nach  $G K$  zurückgeworfenen Lichte wird nur ein Theil bei  $K$  austreten, ein anderer aber wieder auf  $CD$  und von hier auf  $AB$  so zurückgeworfen werden, wie bei dem Parallelspiegel erklärt wurde. Es entstehen also auch hier mehrere Nebenbilder von  $E$  durch innere Reflexionen, sie sind aber so schwach, dass sie gegen das Hauptbild  $E'$  verschwinden und deshalb nicht weiter in Betracht kommen. Nur das Bild  $E''$ , welches durch Reflexionen auf  $AB$  entsteht, ist zu beachten.

Es liesse sich auch hier wie bei dem Parallelspiegel der Winkel  $E' O E'' = \varphi'$  ausdrücken, um welchen die Bilder  $E'$  und  $E''$  auseinander liegen; man bedarf aber dieses Ausdrucks gar nicht, um einzusehen, dass dieser Winkel bei einem prismatischen Spiegel gar nie null wird, auch wenn der leuchtende Punkt  $E$  unendlich weit entfernt ist. Denn da für diesen letzteren Fall  $\varepsilon' = \varepsilon$  wird, so ist der Winkel  $E F' O$  des einfallenden und von  $AB$  zurückgeworfenen Strahls  $E F' = 2\varepsilon$ , während der Winkel  $E C O$ , den der eindringende Strahl  $E F$  mit dem von  $CD$  zurückgeworfenen bildet,  $\varepsilon + \varepsilon''$  ist. Es bilden also, selbst wenn  $E F$  und  $E F'$  parallel sind, die Strahlen  $E'' F' O$  und  $E' H O$  immer noch einen Winkel

$$\varphi' = 2\varepsilon - (\varepsilon + \varepsilon'') = \varepsilon - \varepsilon''$$

mit einander, welcher null wird, wenn  $\varepsilon'' = \varepsilon$  ist. Diese Gleichheit findet aber nur statt, wenn der Spiegel nicht prismatisch ist.

Die Thatsache, dass der Winkel  $\varphi'$  bei einem prismatischen Spiegel nicht null werden kann, gibt ein Mittel an die Hand, einen solchen Spiegel von einem parallelen zu unterscheiden. Man braucht nämlich nur in beiden einen ausserordentlich weit entfernten sehr hellen und scharf begrenzten Gegenstand (etwa einen Stern) zu betrachten und zuzusehen, ob sich mehr als ein deutliches Bild von demselben erzeugt. Entsteht nur eines, so ist der Spiegel parallel, zeigen sich aber mehrere, so ist er prismatisch. Dabei ist vorausgesetzt, dass die Spiegelflächen vollkommene Ebenen sind. Ob sie aber diese Eigenschaft besitzen, erkennt man im Allgemeinen daran, dass sie scharf begrenzte Gegenstände rein und unverzerrt abbilden.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Das besondere Verfahren bei dieser Untersuchung, dessen Verständniss jedoch die Kenntniss der Fernrohre voraussetzt, ist in den Abhandlungen über die Prüfung der Plan- und Parallelgläser

### 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

nachtheiligen Einfluss eines prismatischen Spiegels, der statt an einem Messinstrumente angebracht ist, genauer zu ermitteln für den besonderen Fall, dass der leuchtende Punkt E entfernt ist, oder die von E kommenden Lichtstrahlen parallel sind, wie sich die Grösse des Winkels  $E' O E''$ , der in diesem  $= \varphi'$  ist, bestimmen lässt.

Der einfallende Strahl EF gilt nach den bekannten Bezeichnungen

$$\sin \varepsilon = n \sin \beta$$

stretenden KO wird, da  $\beta'' = \beta + 2\alpha$  ist:

$$\sin \varepsilon'' = n \sin (\beta + 2\alpha).$$

Subtrahirt man die erste Gleichung von der zweiten ab, so wird nach einigen Umformungen:

$$\frac{1}{2} (\varepsilon'' - \varepsilon) \cos \frac{1}{2} (\varepsilon'' + \varepsilon) = n \sin \alpha \cos (\beta - \alpha).$$

Wenn  $\alpha$  sehr wenig abweicht und  $\alpha$  sehr klein ist, so kann man, an die Stelle der mittleren Werthe von  $\varepsilon$ ,  $\cos \varepsilon$  für  $\cos \frac{1}{2} (\varepsilon'' + \varepsilon)$  und  $\beta - \alpha$  setzen, und statt  $\sin \alpha$  und  $\sin (\varepsilon'' - \varepsilon)$  die Bögen nehmen, wodurch man schliesslich erhält:

$$\varphi' \cos \varepsilon = 2\alpha \sqrt{n^2 - \sin^2 \varepsilon} \quad (6)$$

Man kann beispielsweise den Neigungswinkel  $\alpha = 1$  Minute, den  $\varepsilon = 60^\circ$  und das Brechungsverhältniss  $n = 1,5$  an, so wird  $\varphi' = 4,9$  Minuten, woraus man zur Genüge den nachtheiligen Einfluss der prismatischen Gestalt eines ebenen Glasspiegels ersehen kann. Wenn der Spiegel an  $0$  oder  $90^\circ$  liegt, also  $\cos \frac{1}{2} (\varepsilon'' + \varepsilon)$  oder  $\cos (\varepsilon - \frac{1}{2} \varphi')$  oder  $\sin \frac{1}{2} \varphi'$  gleich wird, so darf man die Formel nicht mehr anwenden, sondern muss  $\varphi'$  entweder aus der Formel ausdrücken  $\sin \frac{1}{2} \varphi' \cos (\varepsilon - \frac{1}{2} \varphi') = n \sin \alpha \cos (\beta - \alpha)$  oder aus der Formel  $\varphi' \cos (\varepsilon - \frac{1}{2} \varphi') = 2n \alpha \cos (\beta - \alpha)$  berechnen.

### Die Glasprismen.

In neuerer Zeit sind an verschiedenen Messinstrumenten statt Glasprismen angebracht worden, weil dieselben nicht bloss klarer, sondern auch vermöge ihrer Gestalt mannichfaltigere Ablesungen geben als die Spiegel. Die Anwendung dieser optischen und geometrischen Instrumenten gründet sich vornehmlich auf den besondern Fall der Zurückwerfung des Lichts, welcher Reflexion heisst und worüber zum bessern Verständniss des folgenden eine kurze Erläuterung folgt.

Die Grössen  $\varepsilon$ ,  $\beta$ ,  $n$  dieselbe Bedeutung wie in dem vorigen Abschnitt. Es ist bekanntlich durch die Gleichung  $\sin \varepsilon = n \sin \beta$  ein Theil

A. Martins im 22. und 24. Jahrgange der »Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des wissenschaftlichen Unterrichts in Preussen« beschrieben.



des Brechungsgesetzes ausgedrückt, während der andere Theil die Bestimmung enthält, dass der einfallende und gebrochene Strahl in einer Ebene mit dem Einfallslot liegen. Der Brechungswinkel  $\beta$  erhält offenbar dann seinen grössten Werth, wenn ihn der Sinus des Einfallswinkels  $\epsilon$  hat, und dieses ist der Fall für  $\sin \epsilon = 1$  oder  $\epsilon = 90^\circ$ . Man findet also den grössten Werth von  $\beta$  aus der Gleichung  $n \sin \beta = 1$ .

Nimmt man, wie es für Luft und Kronglas nahehin der Fall ist, das Brechungsverhältniss  $n = 3:2$  an, so folgt aus der Gleichung

$$\sin \beta = \frac{2}{3}, \text{ der Winkel } \beta = 41^\circ 48'.$$

Für Luft und Glas, dessen Brechungszahl 1,5 ist, gibt es also keinen grösseren Brechungswinkel als  $41^\circ 48'$ . Trifft nun in einem Glase ein Lichtstrahl so auf eine Wand desselben, dass er mit dem Einfallslothe einen grösseren Winkel als  $41^\circ 48'$  bildet, so tritt er gar nicht mehr aus, sondern wird in das Glas gerade so zurückgeworfen, als ob er auf eine vollkommene Spiegelfläche gefallen wäre. Diese Erscheinung nennt man die totale Reflexion des Lichts.

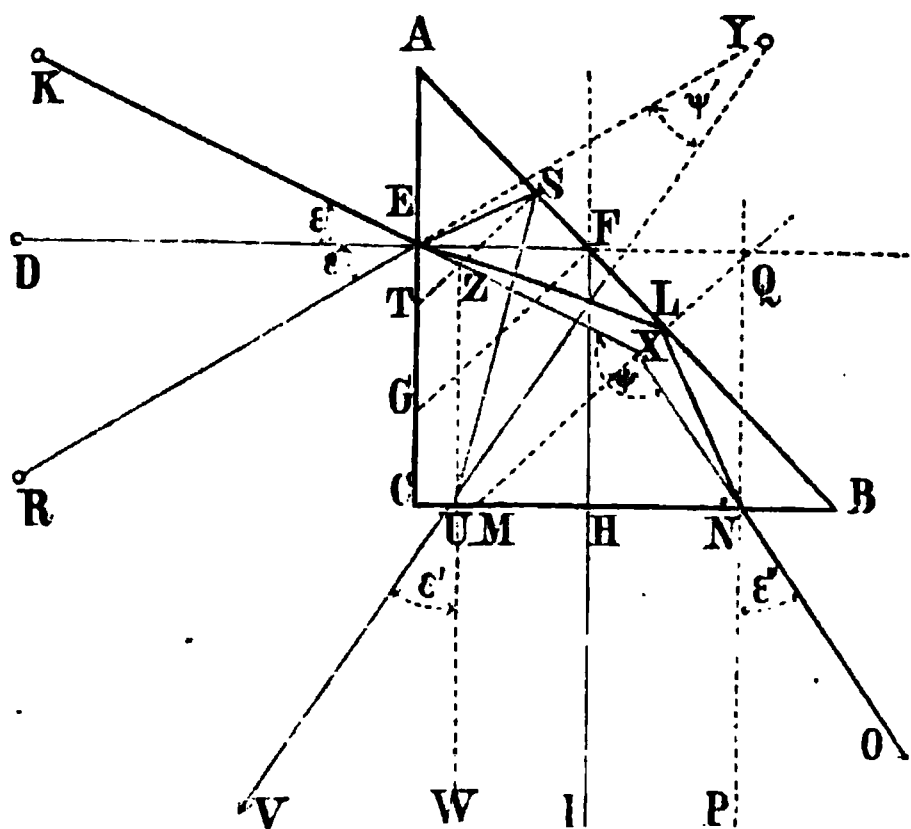
§. 33. Dreiseitige Glasprismen. Die meiste Anwendung fand bis jetzt dasjenige senkrechte Glasprisma, dessen Grundfläche eine gleichschenkelig-rechtwinkliges Dreieck ist, wie  $A B C$  in der beigedruckten Fig. 8.

1) Stellt  $D F$  einen in der Ebene des Querschnitts  $A B C$  liegenden Lichtstrahl vor, der in der Richtung des Loths auf  $A C$  einfällt, so dringt derselbe, weil der Einfallswinkel null ist, ungebrochen in das Prisma ein und trifft die Hypotenuse  $A B$  und das Loth  $G F$  unter einem Winkel von  $45^\circ$ . Da der Winkel  $D F G > 41^\circ 48'$ , so findet bei  $F$  eine gänzliche Zurückwerfung und demgemäss bei  $H$  ein auf  $B C$  senkrechter Austritt des Strahls  $D E$  statt. Die Richtung  $H I$  bildet mit dem Strahle  $D E$ , der das Bild des Punkts  $D$ , von welchem er ausgeht, in sich trägt, einen Winkel

$$D F I = \psi_0 = 90^\circ. \quad (7)$$

Der Strahl  $K E$ , welcher mit dem Lothe den Winkel  $\epsilon$  macht und auf der Seite des Loths liegt, die einem spitzen Winkel ( $A$ ) zugekehrt ist, wird nach der Richtung  $E L$  unter dem Winkel  $\beta$  gebrochen, der sich aus dem Brechungsgesetze  $\sin \epsilon = n \sin \beta$  bestimmt, und trifft gegen das Loth in  $L$  unter einem Winkel  $\gamma = 45^\circ + \beta$ , der grösser ist als  $41^\circ 48'$ . Er wird folglich in  $L$  zurückgeworfen und gelangt in der Richtung  $L N$  gegen das

Fig. 8.



Loth  $NP$ , mit dem er, wie leicht einzusehen, den Winkel  $LNQ = \beta'' = \gamma - 45^\circ = \beta$  bildet. Da nun  $\beta'' = \beta$ , so muss nach dem Brechungsgesetze nothwendig auch  $\varepsilon'' = \varepsilon$  sein. Der einfallende Strahl  $(KE)$  bildet demnach mit dem austretenden  $(NO)$  einen Winkel

$$KXO = \psi = 90^\circ + 2\varepsilon. \quad (8)$$

Dieser Winkel wird für  $\varepsilon = 45^\circ$  der Summe von zwei rechten gleich, d. h. wenn ein Lichtstrahl  $(KE)$  parallel mit der Hypotenuse  $(AB)$  auf eine Kathete  $(AC)$  fällt, so tritt er auch parallel mit seiner anfänglichen Richtung an der anderen Kathete  $(BC)$  aus.

2) Verfolgen wir den Strahl  $RE$ , der unter dem Winkel  $\varepsilon'$  auf der Seite des Loths einfällt, die sich dem rechten Winkel des Prismas zuwendet, so geht dieser unter dem Winkel  $\beta'$  von  $E$  nach  $S$  und bildet mit dem Lothe  $ST$  den Winkel  $EST = \gamma' = 45^\circ - \beta'$ , welcher nur so lange grösser ist als  $41^\circ 48'$ , als  $\beta'$  nicht mehr als  $3^\circ 12'$  beträgt. So lange wird auch alles in der Richtung  $ES$  auf  $AB$  treffende Licht nach  $SU$  zurückgeworfen. Wird aber  $\beta' > 3^\circ 12'$  und folglich  $\gamma' < 41^\circ 48'$ , so geht der grössere Theil des in der Richtung  $ES$  ankommenden Lichts bei  $S$  durch das Prisma und nur ein kleiner Theil schlägt die Richtung  $SU$  ein. Diese Richtung bildet in  $U$  mit dem Lothe den Winkel  $SUZ = \beta''' = 45^\circ - \gamma' = \beta'$ ; es muss folglich auch der Winkel  $\varepsilon'''$ , unter welchem der Strahl  $SU$  austritt, nach dem Brechungsgesetze  $= \varepsilon'$  sein. Die Figur ergibt nun sofort, dass der einfallende Strahl  $RE$  mit dem austretenden  $UV$  einen Winkel

$$RYV = \psi' = 90^\circ - 2\varepsilon' \quad (9)$$

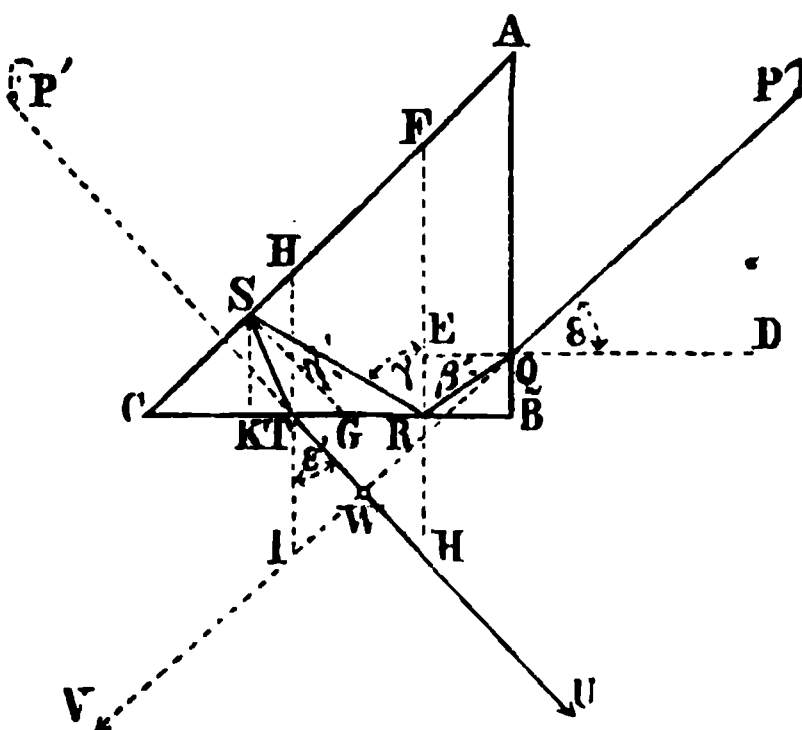
bildet. Für  $\varepsilon' = 45^\circ$  wird  $\psi' = 0$ , d. h. wenn ein Lichtstrahl so auf eine Kathete fällt, dass er mit der Hypotenuse einen rechten Winkel bildet, so tritt er aus der anderen Kathete parallel mit seiner ursprünglichen Richtung wieder aus.

Die durch die Gleichungen 7 bis 9 ausgedrückten Ergebnisse der Analyse des Wegs, den das Licht in dem vorausgesetzten Prisma macht, lassen sich in dem folgenden Satze zusammenfassen: Alle auf eine Kathetenfläche eines gleichschenkligen-rechtwinkligen Prismas fallenden Lichtstrahlen, welche zweimal gebrochen und im Innern einmal zurückgeworfen werden, treten auf der anderen Kathetenfläche so

aus, als ob sie gar nicht gebrochen, sondern nur von der Hypotenusenfläche einfach zurückgeworfen worden wären.

3) Untersuchen wir nunmehr den Gang des Lichts, welches in einem Prisma der angegebenen Art zweimal gebrochen und zweimal zurückgeworfen wird. Es sei  $ABC$  in Fig. 9 der senkrechte Querschnitt dieses

Fig. 9.



Prismas und  $PQ$  ein vom Punkte  $P$  kommender Lichtstrahl, welcher in der Ebene des Schnitts  $ABC$  liegt und an einer Stelle  $Q$  der Kathete  $AB$  auffällt, welche ihn nicht auf die Hypotenuse, sondern auf die zweite Kathete  $BC$  leitet. Der Strahl  $PQ$  geht unter dem Winkel  $\beta$ , der sich aus  $\sin \varepsilon = n \sin \beta$  ergibt, in der Richtung  $QR$  gegen  $BC$  und macht mit dem Lothe  $RF$  einen Winkel  $\gamma = 90^\circ - \beta$ , welcher, da  $\beta$  nie grösser werden kann als  $41^\circ 48'$ , jederzeit grösser ist als der eben angegebene Werth. Es muss folglich in  $R$  eine Totalreflexion stattfinden und der Strahl in der Richtung  $RS$  nach der Hypotenuse  $AC$  gehen, wo er das Loth  $SG$  unter dem Winkel  $\gamma' = 45^\circ - \beta$  trifft. So lange nun  $\beta < 3^\circ 12'$  ist, wird das mit  $RS$  parallele Licht ganz zurückgeworfen, ausserdem aber tritt der grössere Theil bei  $S$  aus, der kleinere geht von  $S$  nach  $T$  zurück und bildet mit dem Lothe in  $T$  einen Winkel  $STH = \beta' = 45^\circ - \gamma' = \beta$ . Da  $\beta' = \beta$  ist, so muss nach dem Brechungsgesetze der Austrittswinkel  $\varepsilon'$  nothwendig auch  $= \varepsilon$  sein. Man wird nun in der Richtung  $UT$  des austretenden Strahls das Bild  $P'$  von  $P$  erblicken, und man entnimmt sofort aus der Figur, dass der Winkel

$$UWV = \omega = 90^\circ + \varepsilon - \varepsilon' = 90^\circ \quad (10)$$

ist und von dem Einfallswinkel  $\varepsilon$  gar nicht abhängt, der von  $0$  bis  $90^\circ$  jeden beliebigen Werth haben kann, aber nicht negativ werden darf, weil sonst der durch Gleichung (9) bezeichnete Fall einträte, welcher  $\omega = \psi = 90^\circ - \varepsilon'$  liefern würde. Das in Gleichung (10) enthaltene Ergebniss lässt sich so ausdrücken: Alle auf eine Kathetenfläche eines gleichschenkligh-rechtwinkligen Prismas fallenden Lichtstrahlen, welche zweimal gebrochen und zweimal zurückgeworfen werden, bilden nach ihrem Austritte aus der zweiten Kathetenfläche mit ihrer anfänglichen Richtung einen rechten Winkel.<sup>1</sup>

4) Die Untersuchungen 1 bis 3 lassen sich allgemeiner führen, wenn  $ABC$  kein rechtwinkliges, sondern ein beliebiges Dreieck ist. In diesem Falle erhält man bei einmaliger innerer Reflexion des Lichts den Winkel

$$\psi = KXO = 180^\circ - C + (\varepsilon + \varepsilon'') \text{ und } \beta'' = \beta + (A - B),$$

woraus für  $A = B$  folgt:  $\beta'' = \beta$ ,  $\varepsilon'' = \varepsilon$ ,  $\psi = 180^\circ - C + 2\varepsilon = 2(A + \varepsilon)$ ; und wenn  $A = B = 45^\circ$  und folglich  $C = 90^\circ$  ist, so wird  $\psi = 90^\circ + 2\varepsilon$ , wie oben. Weiter findet man den Winkel

$$\psi' = RYV = 180^\circ - C - (\varepsilon' + \varepsilon_1) \text{ und } \beta_1 = \beta' - (A - B),$$

woraus sich für  $A = B$  ergibt:  $\beta_1 = \beta'$ ,  $\varepsilon_1 = \varepsilon'$ ,  $\psi' = 180^\circ - C - 2\varepsilon' = 2(A - \varepsilon')$ ; und wenn  $A = B = 45^\circ$  und  $C = 90^\circ$  ist, so wird  $\psi' = 90^\circ - 2\varepsilon'$ , wie in Nr. 1.

Aus dieser Entwicklung entnimmt man leicht, dass jedes dreiseitige Prisma, in welchem das Licht nur einmal reflectirt und zweimal gebrochen

<sup>1</sup> Auf diese Eigenschaft des dreiseitigen rechtwinklig-gleichschenkligen Prismas machte der Verfasser zuerst in seiner Abhandlung über das Prismenkreuz (München 1851), welches sich theilweise hierauf gründet, aufmerksam. (Vergl. Poggendorfs Annalen der Physik und Chemie, Bd. 93. S. 424.) Diese Eigenschaft ist nur ein besonderer Fall der allgemeineren, welche in Nr. 4 dargestellt ist.

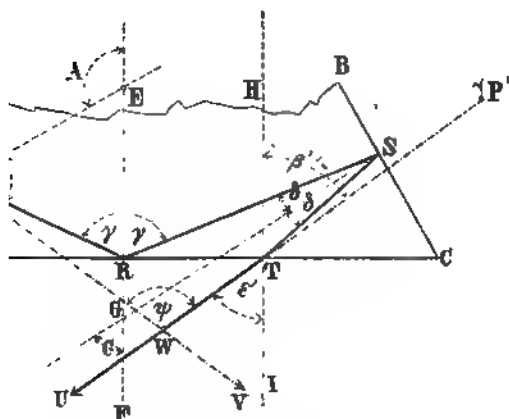
# Bestandtheile der Messinstrumente.

Ein Spiegel angesehen werden kann, dessen Ebene entweder des Winkels  $\psi$  oder des Winkels  $\psi'$  senk-

recht der inneren Reflexion des Lichts in einem ungleichseitigen Dreieck, wie die Fig. 9 vorstellen soll, findet man auf die leichteste Weise den Winkel

$\psi' = B + \epsilon' - \epsilon$  und  $\beta' = \beta + 2C - B$ ,  
 wenn  $C = \frac{1}{2} B$  folgt:  $\beta' = \beta$ ,  $\epsilon' = \epsilon$  und  $\psi = B$ .  
 mit einem Prisma, dessen einer Winkel  $C$  halb so groß als  $B$ , jederzeit die Größe des Winkels  $B$  auf dem Messinstrumente abgelesen werden kann. Aus den vorstehenden Gleichungen folgt  $C = 45^\circ$  der Winkel  $\psi = 90^\circ$ .<sup>1</sup>

Fig. 10.



Querschnitt A B C eines Glases in den ein Parallelstrahl über, so finden die Gleichungen statt:

$$\psi' = B + \epsilon' - \epsilon \text{ und } \beta' = \beta + 2C - A.$$

Wenn  $A = 90^\circ$  und  $A + C = 180^\circ$ , so ist  $C = 90^\circ$  und  $A = \psi$ .  
 Solche Parallelgläser können folglich Winkel von  $90^\circ$  messen.

**Die Glasprismen.** Von den vierseitigen Glasprismen können solche zu Messinstrumenten angewendet werden, deren Querschnitt ein Viereck ist, dessen einer Winkel ein rechter Theil eines durch zwei senkrechte Durchmesser gebildeten Achtecks ist und der sich ergibt, wenn man über einen Kreisbogen A D C beschreibt, denselben halbirt.

<sup>1</sup> Wie ich hat der Verfasser im Jahre 1851 bekannt gemacht, obgleich er damals noch nicht für  $\psi$  und  $\beta'$  gefunden hatte: es schien ihm damals nur der Winkel  $\psi$  von Bedeutung zu sein, später zeigte sich jedoch, dass auch der Winkel  $\beta'$  (auf das Distanzmessen) zulässt, wovon weiter unten die Rede ist.

und die Sehnen  $AD$ ,  $CD$  zieht. In diesem Viereck ist Winkel  $CDA = 135^\circ$  und  $BAD = BCD = 67^\circ,5$ .

1) Stellt  $KI$  einen in der Ebene des senkrechten Schnitts  $ABCD$  liegenden Lichtstrahl vor, welcher gegen das Loth in  $I$  unter dem Winkel  $\epsilon$  einfällt, so wird er nach  $IH$  gebrochen, wobei  $LIH = \beta =$  dem Brechungswinkel ist, der sich aus  $\sin \epsilon = n \sin \beta$  finden lässt. Der Strahl  $IH$  bildet mit dem Lothe in  $H$  einen Winkel  $\delta = 67^\circ,5 + \beta$  und wird folglich total reflectirt. In  $G$  angekommen, schliesst er mit dem Lothe daselbst einen Winkel  $\gamma = 67^\circ,5 - \beta$  ein. Demzufolge wird alles in der Richtung  $HG$  ankommende Licht nach  $GF$  zurückgeworfen, so lange  $\beta < 25^\circ 42'$  ist, und nur ein Theil desselben, sobald  $\beta > 25^\circ 42'$  wird; der übrige Theil tritt bei  $G$  aus dem Glase. Der Strahl  $GF$  bildet mit dem Lothe in  $F$  den Winkel  $GFL = \beta' = 67^\circ,5 - \gamma = \beta$ , und tritt unter dem Winkel  $\epsilon'$  aus, welcher, da  $\beta' = \beta$ , nach dem Brechungsgesetze nothwendig  $= \epsilon$  sein muss. Die beiden Richtungen  $KI$  und  $FE$  bilden somit einen Winkel

$$\begin{aligned} KRE &= \psi = 90^\circ \\ + \epsilon - \epsilon' &= 90^\circ. \end{aligned} \quad (11)$$

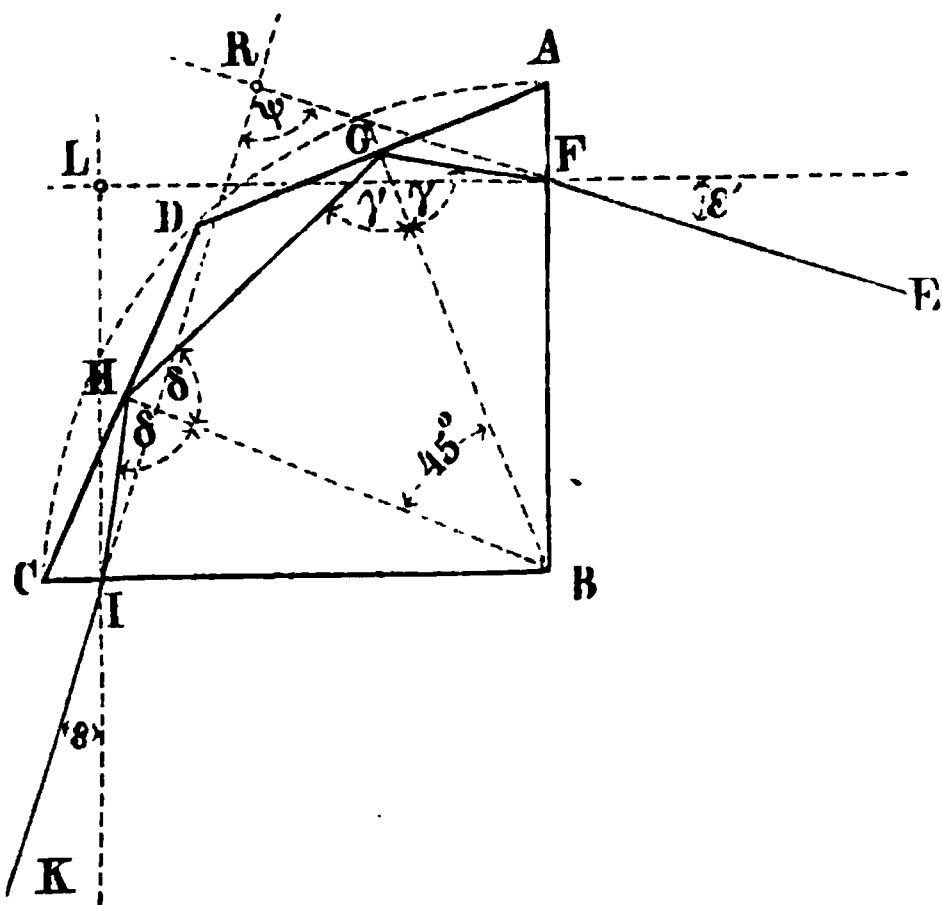
Es versteht sich von selbst, dass an diesem Winkel nichts geändert wird, wenn das Licht in der entgegengesetzten Richtung von  $E$  nach  $F$ ,  $G$ ,  $H$  geht und bei  $I$  austritt, oder wenn in dem ersten Falle  $\epsilon$  und in dem zweiten  $\epsilon' = 0$  wird. Der Winkel  $\psi$  ist demnach sowohl von der Lage als Grösse des Einfallswinkels  $\epsilon$  oder  $\epsilon'$  ganz unabhängig und wir können sagen:

Alle auf eine der Hauptflächen ( $AB$ ,  $BC$ ) eines vierseitigen Glasprismas, dessen Querschnitt der vierte Theil eines regelmässigen Achtecks ist, fallenden Lichtstrahlen treten, wenn sie eine zweimalige Brechung und Zurückwerfung erlitten haben, auf der zweiten Hauptfläche in einer Richtung aus, welche mit der anfänglichen einen rechten Winkel macht.

Dieser Satz gilt auch noch, wenn der Scheitel  $D$  des Winkels  $ADC$  nicht in dem Umfange eines regelmässigen Achtecks liegt und folglich die Winkel bei  $A$  und  $C$  ungleich sind, so lange nur deren Unterschied nicht  $45^\circ$  oder mehr beträgt, d. h.  $A$  oder  $C$  nicht  $90^\circ$  oder darüber ist.

2) Mit dem Wollaston'schen Prisma lassen sich auch, wie der Verfasser im April 1868 gezeigt hat,<sup>1</sup> Winkel von  $45^\circ$  abstecken, wodurch es mög-

Fig. 41.

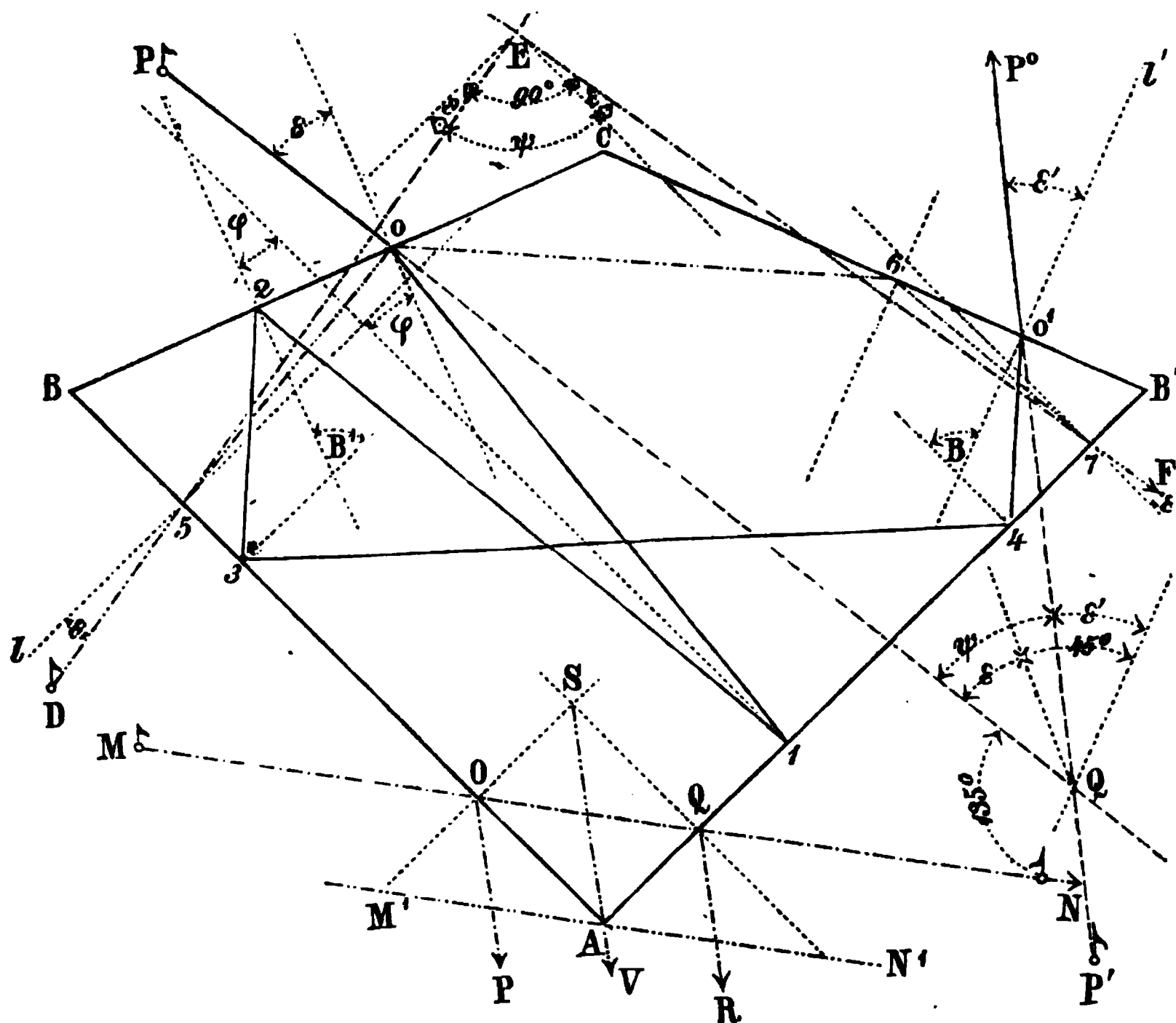


<sup>1</sup> 1) Sitzungsberichte der k. bayr. Akademie der Wissenschaften, 1868, Bd. I., S. 491 u. ff. und  
2) Poggendorff's Annalen, Bd. 134, S. 169 u. ff.

lich wird, die Ordinaten, welche zur Aufnahme krummer Linien etc. dienen, auf dem Felde in die Abscissenaxe umzulegen und in dieser gleichzeitig mit den Abscissen zu messen.

Tritt nämlich ein Lichtstrahl  $PQ$  bei  $O$  (Fig. 12) so in das Prisma, dass er in einer senkrechten Querschnittsebene desselben liegt, so wird er in dieser Ebene ( $ABC B'$ ) bei den Punkten 1, 2, 3, 4 entweder theilweise oder vollständig zurückgeworfen und gelangt bei  $O'$  in der Richtung  $O'P^0$ , welche mit der des einfallenden Strahls den Winkel  $\psi = PQP^0$  bildet, in das Auge, welches in der Richtung  $P^0 O' Q$  ein Bild  $P'$  des leuchtenden

Fig. 12.



Punkts  $P$  erblickt, das vom Gegenstande um den Winkel  $PQP' = 180^\circ - \psi$  absteht. Es lässt sich leicht beweisen, dass der Winkel  $PQP^0 = 45^\circ$  und folglich  $PQP' = 135^\circ$  ist. Denn wenn

- $\epsilon$  den Einfallswinkel des Strahls  $P O$ ,
- $\epsilon'$  „ Austrittswinkel desselben ( $P^0 O' l'$ ),
- (0) „ Brechungswinkel für  $P O$  bei  $O$ ,
- (0') „ zu  $\epsilon'$  gehörigen Brechungswinkel bei  $O'$ ,
- (1) „ Reflexionswinkel bei 1,
- (2) „ gleichen Winkel bei 2 u. s. w.,

- $\varphi$  den Neigungswinkel von  $22\frac{1}{2}^\circ$  der Seite B C gen A B',
- $3\varphi$  „ Winkel B = B' =  $67\frac{1}{2}^\circ$  und folglich
- $4\varphi$  „ rechten Winkel bei A

bezeichnet, so finden folgende mit der Fig. 12 leicht zu bildende Gleichungen statt:

$$\varphi = (0) + (1)$$

$$(1) + \varphi = (2)$$

$$(2) + (3) = 3\varphi$$

$$4\varphi = (3) + (4)$$

$$(4) + (0') = 3\varphi.$$

Addirt man dieselben, so folgt daraus  $(0') = (0)$  und wegen des durch die Gleichungen  $\sin \varepsilon' = n \sin (0')$  und  $\sin \varepsilon = n \sin (0)$  ausgedrückten Brechungsgesetzes:  $\varepsilon' = \varepsilon$ . Weiter lehrt die Figur, dass der Winkel  $\psi = 45^\circ + \varepsilon - \varepsilon'$  und wegen der Gleichheit von  $\varepsilon$  und  $\varepsilon'$ :  $\varphi = 45^\circ$  und  $PQ P' = 135^\circ$  ist, was zu beweisen war.

Da die Winkel  $\varepsilon$  und  $\varepsilon'$  in dem Ausdrucke für  $\psi$  verschwinden, so können dieselben innerhalb gewisser Grenzen eine beliebige Grösse haben, d. h. das Prisma lässt sich um seine Axe drehen, ohne dass das Bild P' seine Lage ändert. Da ferner  $(0') = (0)$  und  $\varepsilon' = \varepsilon$ , so wird der bei O entstandene und durch alle Reflexionen nicht veränderte Dispersionswinkel bei O' wieder aufgehoben, und es ist folglich das Bild P' farblos. Und da endlich die Zahl der innern Reflexionen eine gerade ist, also alle von dem Gegenstande ausgehenden Lichtstrahlen um gleiche Winkel abgelenkt werden, so hat das Bild die Stellung des Gegenstands, und es findet keine Vertauschung von rechts und links statt.

Die Helligkeit des Bilds P' würde sehr vermindert werden, wenn das bei dem Punkte 1 unter einem sehr kleinen Winkel (1) auffallende Licht grösstentheils austreten könnte. Diesem Austritte wird jedoch wirksam vorgebeugt durch die Versilberung der Kathetenflächen in der Richtung von A nach B auf etwa drei Viertel ihrer Längen A B und A B'. Polirt man überdiess diese beliebig dick zu machende Versilberung, so dass sie nach aussen und innen als Spiegel wirkt, so erwächst dadurch noch der weitere Vorthail, dass, wenn man die auf einander senkrecht stehenden Spiegel A B und A B' in die gerade Verbindungslinie zweier Punkte M und N bringt, das auf sie in den Richtungen M O und N Q treffende Licht nach O P und Q R zurückgeworfen wird, welche unter sich und mit A S parallel sind. Je näher die Treffpunkte O und Q an der Kante A liegen, desto näher rücken die Bilder von M und N einander, und sie können folglich zur Berührung gebracht werden. In dem Augenblick, wo dieses geschieht, liegt der Punkt A in der Geraden M N. Man kann also mit einem in der angegebenen Weise versilberten Wollaston'schen Prisma nicht bloss ganze und halbe rechte Winkel erzeugen (abstecken), sondern auch einen Punkt in der geraden Verbindungslinie zweier anderen Punkte angeben.

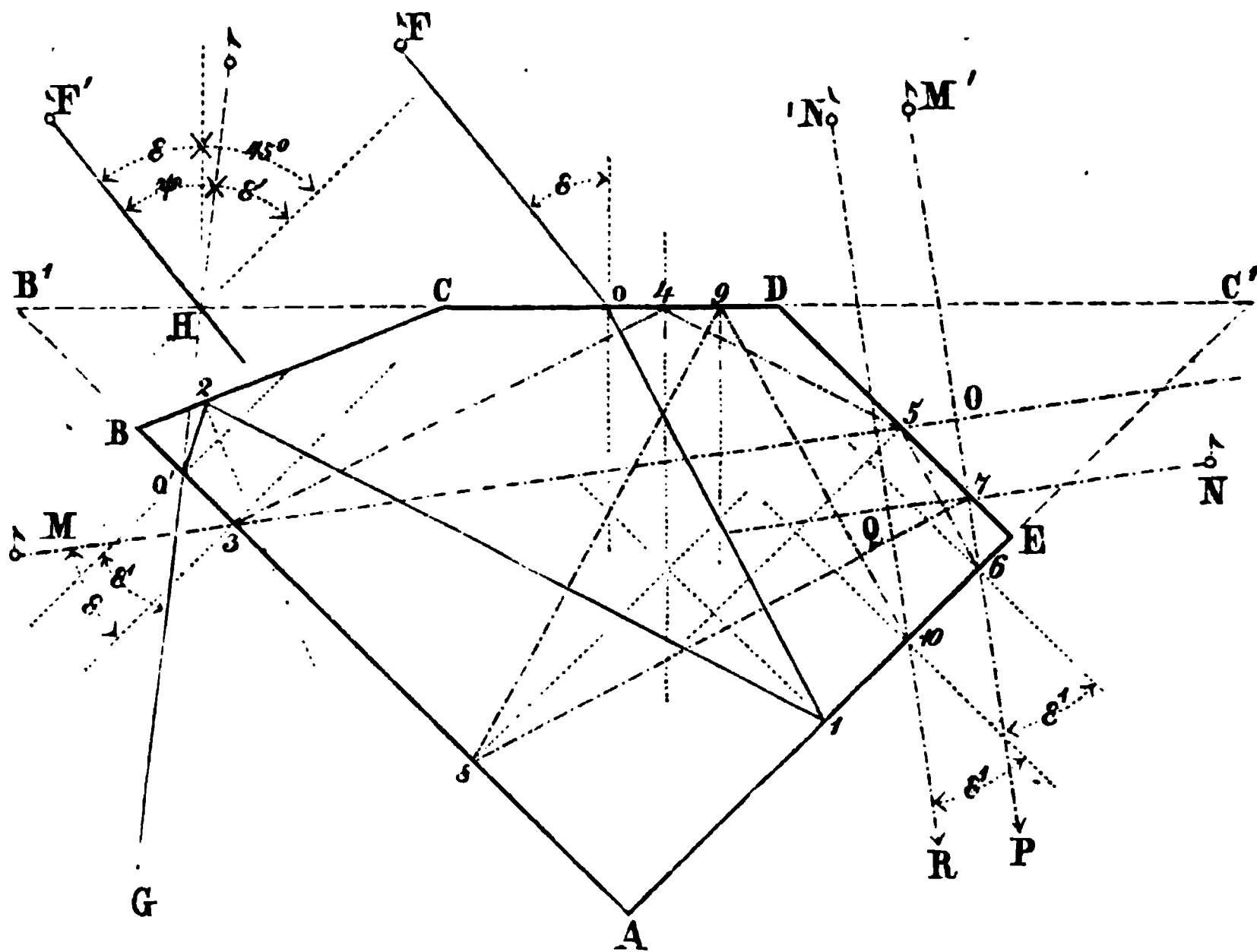


§. 35. Fünfseitige Glasprismen. Zu Anfang des Jahres 1868 hat der Verfasser ein fünfseitiges Spiegelprisma erfunden,<sup>1</sup> welches ohne jede Nebenvorrichtung constante Ablenkungswinkel von  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  und  $180^\circ$  gewährt, also auch zur Absteckung solcher Winkel auf dem Felde dient.

In Fig. 13 ist der senkrechte Querschnitt A B C D E gezeichnet, und es geht derselbe aus einem gleichschenkelig-rechtwinkligen Dreiecke A B' C' leicht dadurch hervor; dass man bei C' das rechtwinklige Dreieck D E C' und bei B' das Dreieck B B' C abschneidet. Die Winkel des übrig bleibenden Fünfecks sind:  $A = E = 90^\circ$ ,  $B = 67\frac{1}{2}^\circ$ ,  $C = 157\frac{1}{2}^\circ$ ,  $D = 135^\circ$ .

Fassen wir zuerst den Strahl M 3 ins Auge, so macht derselbe den

Fig. 13.



Weg M 3 4 5 6 P, indem er bei 4 und 5 zweimal zurückgeworfen wird und bei 6 in der Richtung 6 P austritt. Das Bild M' liegt in einer Senkrechten auf M 3 O; denn es ist, wenn

- ε den Einfallswinkel des Strahls M 3,
- (3) „ Brechungswinkel dieses Strahls,
- (4) „ Reflexionswinkel bei dem Punkte 4,
- (5) „ Reflexionswinkel bei dem Punkte 5,

<sup>1</sup> Beschrieben in den Sitzungsberichten der k. bayr. Akademie der Wissenschaften, 1868, Bd. I. S. 495 u. ff. und in Poggendorfs Annalen, Bd. 134, S. 172 u. ff.



- (6) den Brechungswinkel des Strahls P 6,  
 $\varepsilon'$  „ Austrittswinkel dieses Strahls und  
 $\psi$  „ Ablenkungswinkel M O P des Strahls M 3 4 5 6 P

bezeichnet, nach der Figur:

$$(3) = (4) - (5)$$

$$(4) + (5) = 135^\circ$$

$$90^\circ = (5) + (6)$$

folglich, wenn man diese Gleichungen addirt:  $(3) = (6)$  und wegen der durch das Brechungsgesetz gegebenen Beziehungen:  $\sin \varepsilon' = n \sin (6)$  und  $\sin \varepsilon = n \sin (\varepsilon)$  der Austrittswinkel des einfallenden Strahls  $\varepsilon' = \varepsilon$ . Mit dieser Gleichheit geht der Ausdruck für den Ablenkungswinkel M O P, nämlich  $\psi = 90^\circ + \varepsilon - \varepsilon'$  über in  $\psi = 90^\circ$ .

In gleicher Weise wird der Beweis geführt, dass der bei 7 einfallende Strahl N 7, nachdem er bei 8 und 9 reflectirt wurde, bei 10 in der Richtung 10 R austritt, welche auf N 7 Q senkrecht ist. Man sieht also in R das Bild N' des Punkts N. Sind die beiden Strahlen M 3, N 7 parallel, wie es der Fall ist, wenn M, N Punkte einer durch die Prismenaxe gehenden Geraden sind, so müssen auch die Richtungen der austretenden Strahlen 6 P, 10 R parallel und senkrecht auf M N sein: ein bei R P befindliches Auge sieht also beide Bilder M', N' dicht neben einander. Umgekehrt steht die Prismenaxe in der Geraden M N, wenn eine Berührung oder Deckung der Bilder M', N' stattfindet, und es ist diese Axe der Fusspunkt einer Senkrechten, welche von dem Punkte M', N' auf die Gerade M N gefällt wurde.

Der Hauptvorzug des fünfseitigen Spiegelprismas gegenüber der nach §. 34, Nr. 2 versilberten vierseitigen Camera lucida besteht darin, dass die Richtungen nach den Bildern M' N' stets senkrecht auf M N stehen, wenn auch das Prisma um seine Axe nach rechts oder links etwas gedreht wird, während diese Richtungen bei dem vierseitigen Prisma zwar parallel bleiben, aber jede Drehung desselben mitmachen.

Dass der bei 0 in der Richtung F 0 eintretende Strahl, nachdem er bei 1 und 2 reflectirt worden, unter einem Winkel  $\psi = F' H \angle = 45^\circ$  austritt, folgt einfach aus den leicht zu bildenden Gleichungen:

$$(0) + (1) = 45^\circ$$

$$(2) = (1) + 22\frac{1}{2}^\circ$$

$$67\frac{1}{2}^\circ = (2) + (0')$$

welche sofort durch Addition  $(0') = (0)$  ferner, wegen der durch das Brechungsgesetz gegebenen Relation,  $\varepsilon' = \varepsilon$  und, wegen der geometrischen Beziehung  $\psi = 45^\circ + \varepsilon - \varepsilon'$ , den Winkel  $\psi = 45^\circ$  liefern.

Will man auf die Möglichkeit, Winkel von  $45^\circ$  abzustecken, verzichten, so kann das Prisma A B C D E nach Fig. 14 symmetrisch gestaltet werden, indem man den Winkel  $B = E = 90^\circ$  macht. Das Spiegelprisma hat alsdann drei rechte Winkel (A, B, E) und zwei von je  $135^\circ$  (C, D). Uebrigens

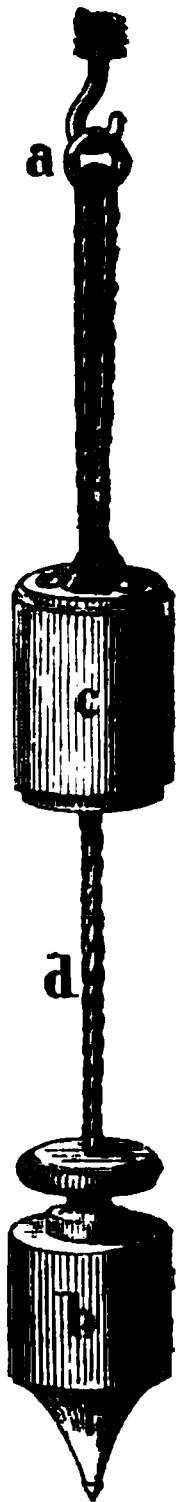


benützt man den Senkel zur lothrechten Aufstellung von Latten und Stangen, oder um einen Punkt, an den man den Senkelfaden anlegen kann, auf eine unter ihm liegende Ebene zu projeciren. Für gewöhnliche Zwecke genügt es, den schweren Kegel oder birnförmigen Körper an einer dünnen seidenen Schnur aufzuhängen; zu sehr genauen Messungen aber wird erfordert, dass die Schnur durch einen feinen Silberdraht von etwa 0,1 Millimeter Dicke ersetzt und die aufs Sorgfältigste gearbeitete Birne so an diesen Draht befestigt werde, dass ihre Spitze genau in der Verlängerung des Drahts liegt.

### Der Doppelsenkel.

§. 37. Dieser Senkel (Fig. 15) dient im Allgemeinen dazu, zwei durch kein Hinderniss getrennte Punkte in eine lothrechte Richtung zu bringen, wie z. B. eine bestimmte Stelle eines Messinstruments und einen auf dem Felde bezeichneten Punkt. Er unterscheidet sich von dem einfachen Senkel nur dadurch, dass er leicht aufgehängt und nach Belieben verlängert oder verkürzt werden kann. Zu dem Zwecke befindet sich die metallene Birne (b) an dem einen Ende einer seidenen Schnur, welche durch einen mit der Birne gleich schweren Messingcylinder (c) und einen zum Aufhängen dienenden Ring (a) geht, während das andere Ende dieser Schnur in dem genannten Cylinder festgehalten wird. Sein Gebrauch versteht sich von selbst.

Fig. 15.



### Die Lothgabel.

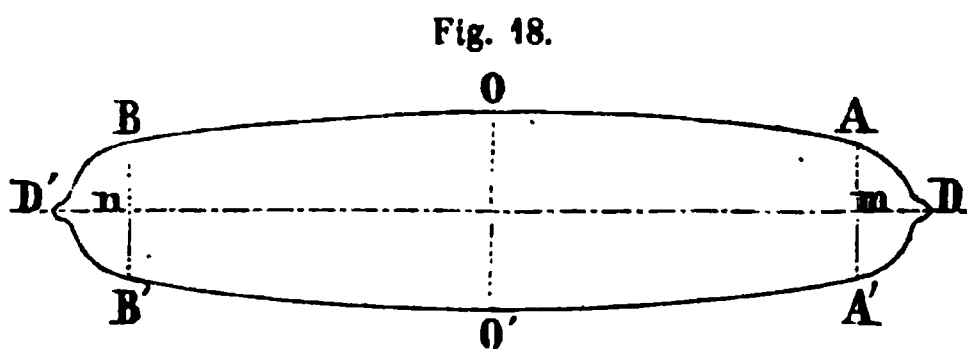
§. 38. Befindet sich zwischen den zwei Punkten, welche in eine lothrechte Richtung gebracht werden sollen, irgend ein Hinderniss, das die Anwendung des einfachen oder doppelten Senkels unmöglich macht, wie dieses z. B. der Fall ist, wenn der eine Punkt (m) auf einem Zeichenbrette gegeben ist, oder gesucht wird: so kann man sich der Lothgabel (Fig. 16) bedienen, welche nichts anderes als ein an einem gabelförmigen Träger angebrachter einfacher oder doppelter Senkel ist. Die Gabel kann von Metall oder Holz sein und die nebengezeichnete oder eine andere Form haben: immer kommt es nur darauf an, dass ihr oberer Schenkel eben aufgelegt werden kann und eine feine Spitze (m) hat, während der untere Schenkel gerade so lang ist, dass bei wagrechter Lage des oberen und angespannter Schnur deren lothrechte Richtung durch die Spitze (m) geht. Es ist klar, dass, wenn die Spitze der Lothgabel an den gegebenen Punkt m gebracht und so gehalten wird, dass der obere Schenkel m o wagrecht ist, die Birne b die Projection oder das Bild m' des Punkts

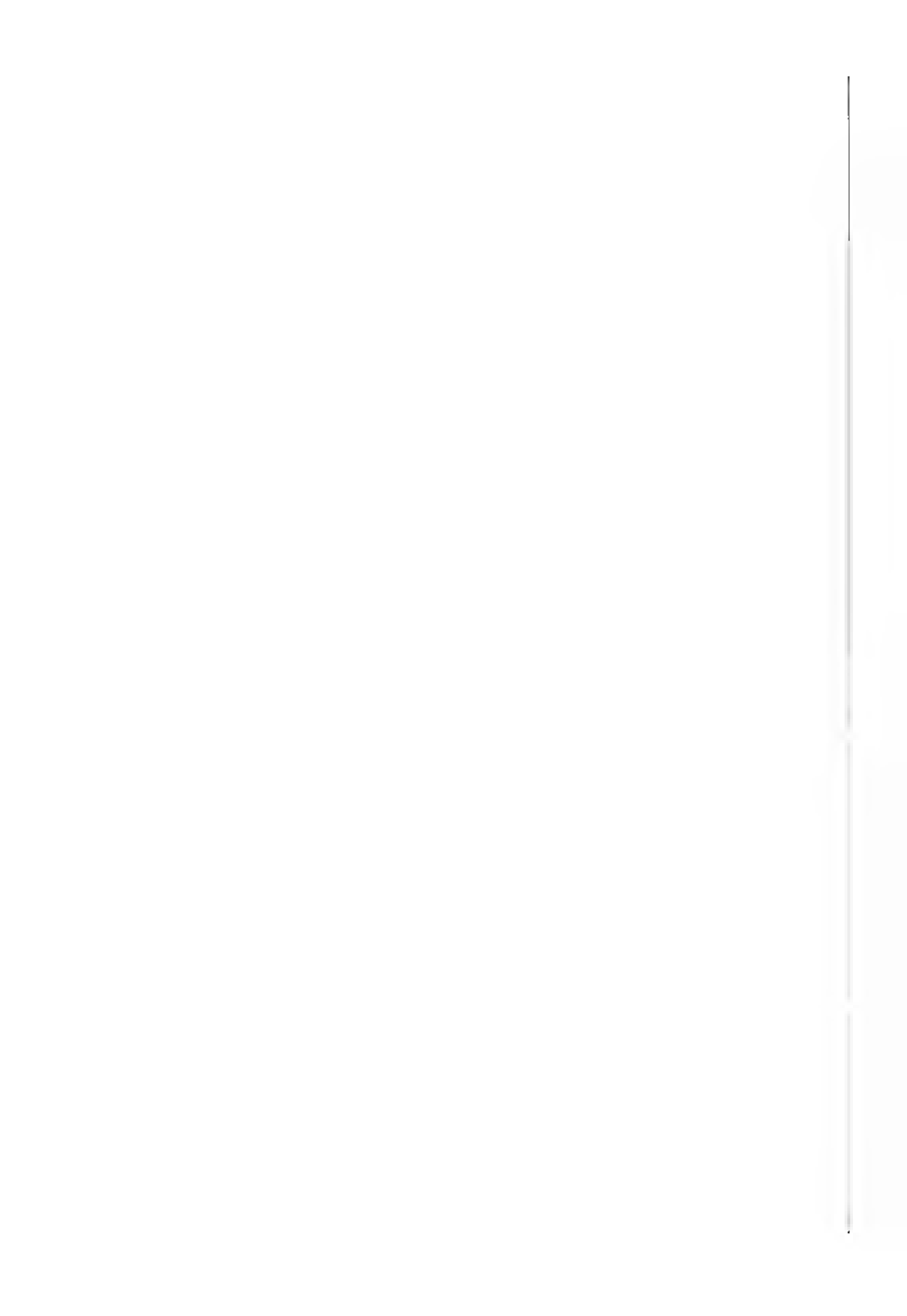


Ausserdem dienen sie zur Messung geringer Abweichungen der zu ihnen parallel oder senkrecht gestellten Richtungen von der wag- oder lothrechten Lage. Sie bestehen der Hauptsache nach aus einem in Messing gefassten verschlossenen Glasgefässe, welches mit zwei verschiedenen Flüssigkeiten, einer tropfbaren und einer luftförmigen, angefüllt ist, von denen die letztere als die specifisch leichtere auf der ersteren schwimmt und als Luftblase erscheint. Das Glasgefäss ist entweder wie eine Röhre oder eine runde Dose geformt, und man unterscheidet desshalb Röhren- und Dosenlibellen. Die letzteren sind aber nunmehr ziemlich ausser Gebrauch gekommen, und wo sie noch angewendet werden, bedürfen sie nur einer sehr geringen Empfindlichkeit. Die tropfbare Flüssigkeit in dem Gefässe bestand ehemals aus Wasser und die elastische aus atmosphärischer Luft; daher die Namen „Wasserrwage“ und „Luftblase.“ In neuerer Zeit wendet man aber bei den weniger feinen Libellen Weingeist und bei den feineren und feinsten Schwefeläther (Vitriolnaphta) zur Füllung an, und lässt die Luftblase nicht aus atmosphärischer Luft, sondern aus Dampf der eingefüllten Flüssigkeit bestehen. Dieser Dampf wird dadurch erzeugt, dass man das Gefäss bei gewöhnlicher Temperatur bis auf einen kleinen Raum mit Flüssigkeit anfüllt und hierauf in ein Sandbad von etwa  $30^{\circ}$  Wärme bringt, wodurch die Flüssigkeit in Folge der Ausdehnung bis an den Rand des Gefässes steigt. Schliesst man in diesem Augenblicke das letztere durch Zuschmelzen oder auf andere Weise luftdicht ab, so wird sich in demselben mit der Erwärmung der Flüssigkeit ein luftleerer Raum zu bilden suchen, den aber sofort Dampf von der eingeschlossenen Flüssigkeit ausfüllt. Dieser Dampf verdichtet sich, wenn die Flüssigkeit durch Erwärmung wieder ausgedehnt wird, so weit es erforderlich ist; es werden auf diese Weise gefährliche Spannungen in dem Gefässe vermieden, und hierin liegt der Vorzug einer Dampfblase vor der Blase aus atmosphärischer Luft.

#### Die Röhrenlibelle.

§. 40. **Ausschlag der Blase.** Stellt man sich unter A B in Fig. 18 einen sehr flachen Kreisbogen und unter D D' eine seiner Sehne parallele Linie vor, so kann man sich die mathematische Form einer Libellenröhre durch Drehung des Bogens A B um die Axe D D' erzeugt denken. Alle senkrechten Querschnitte der Röhre sind Kreise von verschiedenen Durchmessern, alle Längenschnitte durch die Axe aber einander und der Figur A B B' A' gleich. Für die nächstfolgenden mathematischen Betrachtungen wollen wir uns der Einfachheit halber den













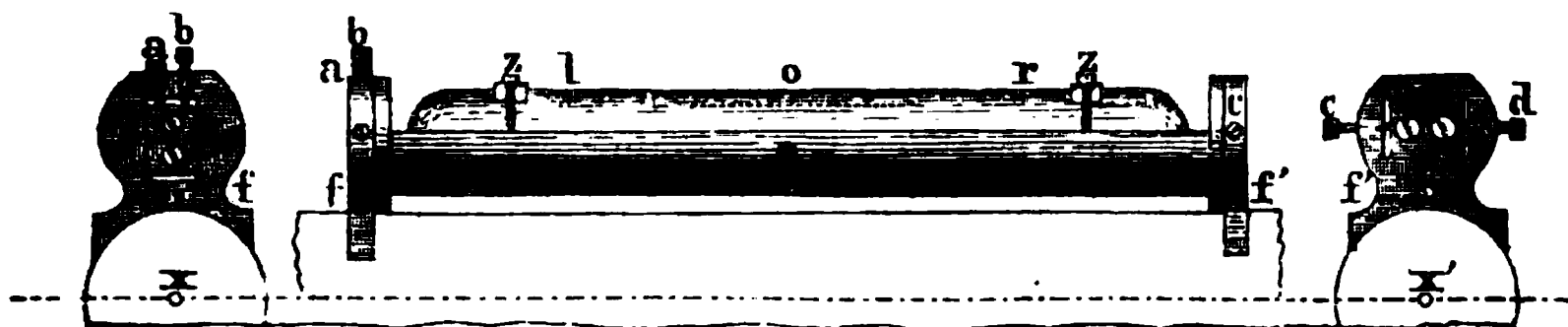


hat, ist die Vorrichtung zum Parallelstellen einfacher, indem sie bloss aus einer Schraube (s) mit einer ihr gegenwirkenden und um sie gewundenen Stahlfeder (f) besteht. Die Schraube greift in das Lineal ein, während sich die Feder auf dasselbe und an den Vorsprung d' des Messingcylinders stützt. Da sich die Fassung um den Punkt d drehen kann, so wird sie durch das Vor- und Rückwärtsdrehen der Schraube gesenkt und gehoben.

Würde man bei den vorstehenden drei Libellen (Fig. 21—23) die cylindrische Fassung unten, der Stelle l o r gegenüber, genau so ausschneiden wie oben und die Röhre selbst eintheilen, so könnte man diese Libellen auch dazu benützen, zu untersuchen, ob ein ebener Körper auf seiner unteren Seite horizontal ist, indem man eine dieser Libellen anlegte und zusähe, ob die Luftblase einspielt oder nicht. Eben so würde eine auf zwei entgegengesetzten Seiten (unten und oben) getheilte Libelle, die auf einer um ihre Axe drehbaren cylindrischen Unterlage befestigt ist, durch blosses Drehen dieser Unterlage um  $180^\circ$  anzeigen, ob ihre Axe mit jener der Unterlage parallel ist oder nicht.

Die Libelle Fig. 24 wird auf eine cylindrische Röhre oder massive Axe

Fig. 24.



aufgesetzt und dient zur Horizontalstellung derselben oder zur Messung ihrer Abweichung von der wagrechten Lage. Die Glasröhre ruht auf untergelegten Stanniolblättchen in einem Halbcylinder (e) und wird darin durch zwei sanft angedrückte Stege (z, z) festgehalten. Das Lager der Röhre steht durch zwei Ansätze (p, p') mit eben so vielen senkrecht gestellten und unten cylindrisch ausgeschliffenen Füßen (f, f') in Verbindung und kann durch vier Schräubchen (a, b und c, d) gegen die Axe der Unterlage verstellt, d. h. auf und ab oder nach rechts und links geschoben werden.

Da nämlich c und d auf den Ansatz p' drücken, so erfolgt, wenn c rück- und d vorwärts gedreht wird, eine Bewegung der Libellenaxe von d nach c; und es tritt die entgegengesetzte Bewegung ein, wenn d rück- und c vorwärts geschraubt wird. Von den Schräubchen a und b greift das erstere in den Ansatz p ein, während das andere nur auf ihn drückt. Dreht man nun a zurück und b um gleichviel vor, so senkt sich die Libellenaxe bei f so weit als a zurückging; und dreht man erst b zurück und hierauf a vor, so hebt sich die Axe bei f um die rückgängige Bewegung von b. Man sieht hieraus leicht, dass man von den vier Stellschraubchen immer je zwei mit einander und in der rechten Folge behandeln muss, wenn sie die beabsichtigte Wirkung geben und nicht beschädigt werden sollen.























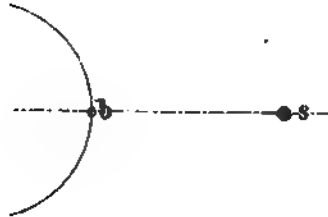
er Messinstrumente.

kannten Neigungswinkeln entsprechen, läge und Winkel mit einander gleich. It man für den Ausschlag  $a$  den Neigungswinkel bei der Röhrenlibelle das Verhältnis  $a$  zu  $l$  und es gilt, wenn die innere Fläche der Libelle, zwischen dem Ausschlage, dem Neigungswinkelmesser ( $r$ ) dieselbe Beziehung, welche bei der Röhrenlibelle ausgesprochen ist.

Axe der Dosenlibelle zu deren ebenen man diese Libelle auf ein festes ebenes

(Fig. 37) nach zwei sich schneidenden Ebenen bewegt werden kann, in der Ebene  $c$  in die Richtung  $s' s''$  fallen, während die Schrauben  $s$  und  $s'$  oder  $s$  und  $s''$  die Luftblase einspielt, d. h. den Mittel-

37.



kreise centrisch umgibt. Sobald dieses Instrument aufrecht; ob sie auch zur Unterlage des Umsetzens derselben, d. i. dadurch, dass man nach  $b'$  bringt. Spielt nach diesem Verfahren ist sie richtig, ausserdem zeigt der Ausschlag  $b b'$  die doppelte Abweichung der Libelle gegen die Linie  $b b'$ , und der Fehler der Axe gegen die Linie  $a c$  an.

darin, dass man die eine Hälfte dieser Libelle und die andere Hälfte an den Schrauben  $s$  und  $s'$  einspielt, zeigt sich, wenn die Libelle nunmehr auch in der Ebene  $c$  einspielt, dass ein Fehler vorhanden, so wird er durch das ebenen Verfahren weggeschafft.

den Dosenlibelle zur Horizontalstellung

von Ebenen ergibt sich aus dem Vorhergehenden von selbst: es kommt dabei immer nur darauf an, die betreffende Ebene so zu bewegen, dass die an einer beliebigen Stelle auf ihr stehende Dosenlibelle einspielt. Denn sobald dieses der Fall ist, steht die Libellenaxe lothrecht, und da die durch die Fusspunkte der Stellschrauben (a, b, c) bestimmte Grundebene der Libelle auf dieser Axe senkrecht steht und zugleich in der Ebene liegt, welche horizontal gestellt werden soll, so ist auch diese Ebene senkrecht zur Libellenaxe und folglich wagrecht.

Der Umstand, dass die Dosenlibelle die Neigung einer Ebene, worauf sie ruht, oder einer Verticalaxe, womit sie senkrecht verbunden ist, gleichzeitig nach zwei Richtungen anzeigt, macht ihren Gebrauch (namentlich für Messtische und Nivellirlatten) bequem, und deshalb findet sie immer noch Anwendung.

§. 46. Dosenlibelle besonderer Art. Es gibt auch Wasserwagen, welche einen Uebergang von der Röhrenlibelle zur Dosenlibelle darstellen. Einen solchen Uebergang zeigt Fig. 38: a b c ist ein Dreifuss, welcher den drei Fusschrauben der Figuren 35 und 36 entspricht, und d e ist eine Röhrenlibelle von geringer Empfindlichkeit, welche in ihrer Mitte von einer messingnen Hülse o gefasst und in eine durch die Mitte des Dreifusses gehende Bohrung so eingelassen ist, dass sie um deren verticale Axe in jede Richtung, besonders aber in die Richtungen a c und b o, oder in die a b, b c, c a gedreht werden kann. Es versteht sich nach dem, was über die a Libellen bereits mitgetheilt ist, nunmehr von selbst, dass mit einer berichtigten Libelle der vorstehenden Art (d. h. mit einer Libelle, deren Axe der durch die drei Fusspunkte a, b, c bestimmten Ebene in jeder Richtung parallel ist) eine Ebene horizontal gestellt werden kann, wenn man diese Ebene so bewegt, dass die Libelle erst in der Richtung a c und dann in der Richtung b o, oder nacheinander in den Richtungen a b, b c, c a einspielt. Eben so ist aus Früherem klar, wie die Prüfung und Berichtigung in dem vorliegenden Falle vorzunehmen sind.

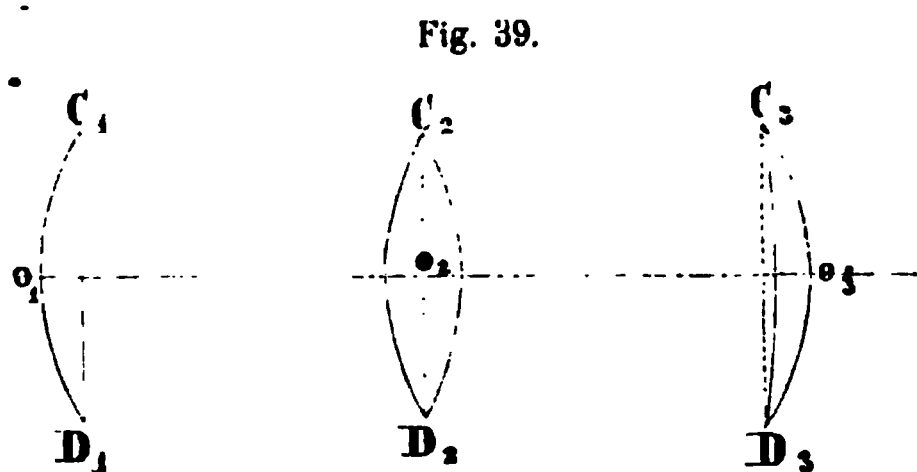
Fig. 38.

### C. Mittel zur Vergrösserung kleiner sehr naheliegender Gegenstände.

#### Die Lupen.

§. 47. An vielen Messinstrumenten befinden sich so feine Theilungen, dass das Ablesen derselben mit blossem Auge entweder ganz unmöglich

oder doch sehr schwierig ist. Man bedarf also Mittel, wodurch sich diese feinen Theilungen dem Auge vergrößert darstellen, damit sie deutlich erkannt werden können. Solche Mittel bieten die convexen Glaslinsen dar, deren Form entweder ein einfacher Kugelabschnitt oder eine Zusammensetzung von zweien ist, wobei sich die ebenen Grundflächen (C D) decken.



Denkt man sich jeden solchen Glaskörper von einer durch die Mittelpunkte seiner Kugelflächen gelegten Ebene geschnitten, so entstehen die vorhergehenden drei Figuren, wovon die erste der planconvexen, die zweite der biconvexen und die dritte der concavconvexen Linse angehört. Diese

Linsen haben folgende Benennungen gemein. Man nennt die Mittelpunkte ihrer Kugelflächen geometrische Mittelpunkte. Jede Linse hat deren zwei: bei der planconvexen Linse liegt der zweite in unendlicher Entfernung, weil die ebene Seitenfläche als Kugel von unendlich grossem Halbmesser anzusehen ist. Denkt man sich die geometrischen Mittelpunkte durch eine gerade Linie verbunden, so stellt diese die Axe der Linse vor. Da bei planconvexen Linsen der zweite Mittelpunkt unendlich entfernt ist, so bestimmt man die Axe durch den ersten Mittelpunkt, indem man von ihm aus eine Linie senkrecht zur ebenen Grundfläche zieht. Die Durchschnitte der Axe mit den Linsenflächen heissen die Scheitelpunkte dieser Flächen; ihr Abstand von einander bestimmt die Dicke, und der Durchmesser des kreisförmigen Randes beider Flächen die Oeffnung der Linse.

Die Convexlinsen haben die Eigenschaft, die von entfernten und nicht zu weit von der Axe abliegenden Punkten auf sie treffenden Strahlen so zu brechen, dass sie nach ihrem Durchdringen der Linse hinter derselben sich wieder vereinigen und physische Bilder der leuchtenden Punkte erzeugen. Wegen dieser Eigenschaft heissen sie Sammellinsen. Sind die leuchtenden Punkte ausserordentlich weit entfernt, so kann man die auffallenden Lichtstrahlen als parallele ansehen, und in diesem Falle nennt man die Stelle, an welcher sich die gebrochenen Strahlen sammeln, den Brennpunkt der Linse, während seine Entfernung von der Linse deren Brennweite heisst.

Befindet sich ein leuchtender Gegenstand so nahe vor einer Convexlinse, dass seine Entfernung kleiner ist als die Brennweite, so sammeln sich, wie Theorie und Erfahrung lehren, die Lichtstrahlen hinter der Linse nicht, sondern gehen in Richtungen auseinander, die sich nach ihrer Verlängerung vor der Linse schneiden und dort ein geometrisches Bild des Gegenstands darstellen, welches grösser ist als dieser. Aus diesem Grunde heissen die convexen Linsen auch Vergrößerungsgläser. Man kann die Linsen so einrichten, dass sie stark oder schwach vergrössern. Eine stark ver-

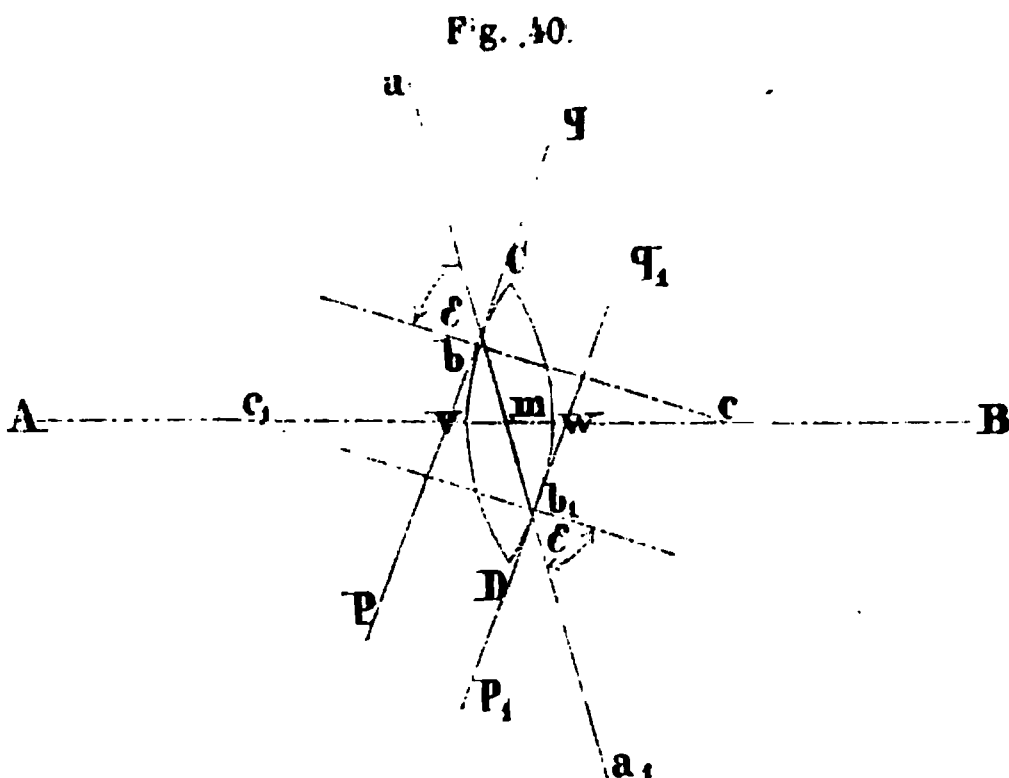


grössernde nennt man einfaches Mikroskop, eine Linse von geringer Vergrößerung aber Lupe (frz. Loupe). Die Theorie der Lupen stimmt mit jener der Convexlinsen überein; wir theilen daher nachfolgend das Wesentlichste über Convexlinsen mit.

§. 48. **Optischer Mittelpunkt.** Ausser den geometrischen Mittelpunkten ist noch ein anderer Punkt der Linsenaxe von Bedeutung, nämlich der optische Mittelpunkt. Man versteht darunter denjenigen Axenpunkt einer nur von Luft oder einem anderen gleichartigen Mittel umgebenen Linse, welcher die ausgezeichnete Eigenschaft besitzt, dass alle durch ihn gehenden Lichtstrahlen ihre Richtung nicht verändern, wie dieses auch bei Parallelgläsern der Fall ist. Alle durch den optischen Mittelpunkt einer Linse gehenden Lichtstrahlen heissen Hauptstrahlen. Es ist wichtig, die Lage dieses Mittelpunkts zu kennen, weil man erstens durch seine Verbindung mit dem leuchtenden Punkte sofort einen Hauptstrahl oder die Richtung erhält, in welcher nothwendig der Bildpunkt liegen muss, und weil zweitens von dem optischen Mittelpunkte aus Gegenstand und Bild unter einerlei Sehwinkel erscheinen.<sup>1</sup>

Um die Lage des optischen Mittelpunkts einer ungleichseitigen biconvexen Glaslinse zu finden, sehe man in der nebenstehenden Figur A B als die Axe, C D als den Querschnitt der Linse an, und betrachte einen beliebigen Strahl a b, der in irgend einem Punkte b der Linse unter dem unbestimmten Winkel  $\epsilon$  gegen das Loth c b einfällt. Soll der Strahl a b, nachdem er durch die Linse gegangen ist, in einer mit a b parallelen Richtung  $b_1 a_1$  austreten, so muss er nothwendig mit dem Lothe  $c_1 b_1$ , das c b parallel ist, wieder den Winkel  $\epsilon$  bilden, d. h. er muss von b nach einem Punkte  $b_1$  gehen, welcher so liegt, dass die Brechungswinkel bei b und  $b_1$  einander gleich sind. Der Punkt m, in welchem der Strahl b  $b_1$  die Axe schneidet, ist der optische Mittelpunkt.

Bezeichnet man den Halbmesser c b der vorderen Linsenfläche mit r, den der hinteren  $c_1 b_1$  mit  $r_1$ , die Dicke v w mit d und den Abstand des



<sup>1</sup> Bei den folgenden Betrachtungen ist vorausgesetzt, die Linsen seien überall nur von Luft umgeben und so dünn, dass ihre Dicke vernachlässigt werden kann. Unter dieser Voraussetzung fallen die von Gauss und Möbius in die Dioptrik eingeführten Cardinalpunkte (2 Haupt- und 2 Knotenpunkte) in einen einzigen, den optischen Mittelpunkt, zusammen. (Vergl. C. Neumann, die Haupt- und Brennpunkte eines Linsensystems, 1866, und E. Reusch, Constructionen zur Lehre von den Haupt- und Brennpunkten eines Linsensystems, 1870.)

## 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

Mittelpunkts von der vorderen Fläche oder  $m v$  mit  $x$ , so findet den beiden ähnlichen Dreiecken  $m b c$  und  $m b_1 c_1$  sehr leicht

$$\frac{r_1 - d}{x} = \frac{r_1 - r_2}{r_1} \quad (18)$$

$r = r_1$  wird  $x = \frac{1}{2} d$ ; in gleichseitigen biconvexen Linsen liegt optische Mittelpunkt in der Mitte derselben.

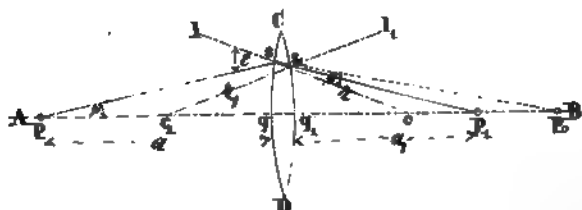
$r < r_1$  wird  $x < \frac{1}{2} d$ , was andeutet, dass in ungleichseitigen biconvexen Linsen der optische Mittelpunkt näher an der stärker gekrümmten Fläche befindet.

$r_1 = \infty$  wird  $x = 0$ , d. h. in planconvexen Linsen liegt der optische Mittelpunkt im Scheitel der gekrümmten Fläche.

einen negativen Werth von  $r_1$  und  $r_1 > r$  wird auch  $x$  negativ, concavconvexen Linsen liegt der optische Mittelpunkt vor der stärker gekrümmten Fläche.

**Hauptformel für Linsen.** In der folgenden Figur stelle  $C D$  eine biconvexe Linse von den Halbmessern  $c s = r$  und  $c_1 s_1$

Fig. 41.



, und  $p$  bezeichne einen in der Axe  $A B$  liegenden leuchtenden Punkt, welcher die Entfernung  $p q = a$  hat. Ein von diesem Punkte ausgehender Strahl  $p s$  wird von der ersten Linsenfläche nach  $s s_1 p_0$  und von dort nach  $s_1 p_1$  gebrochen. Da nun von  $p$  aus auch ein Strahl in fortgeht, welcher ebenfalls das Bild von  $p$  in sich trägt, so muss er ebenfalls in dem Schnittpunkte  $p_1$  liegen.

Man die Entfernung  $p_1 q_1$  (oder die Bildweite)  $a_1$ , das Brechungsverhältniss zwischen der Luft und dem Linsenmaterial  $n$ , und setzt voraus, dass die von  $p$  ausgehenden Strahlen ( $p s$ ) mit der Axe nur einen Winkel ( $\varphi$ ) bilden, so findet man in jedem Lehrbuche der Physik die folgende Formel entwickelt:

$$(n - 1) \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right) = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}. \quad (19)$$

Im besonderen Falle, dass der leuchtende Punkt  $p$  ausserordentlich weit entfernt ist, also  $a = \infty$  ist, geht die Bildweite  $a_1$  in die Brennweite  $f$  über, also der Bildpunkt  $p_1$  in den Brennpunkt über. Es ist alsdann

$$(n - 1) \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r_1} \right) = \frac{1}{f}. \quad (20)$$

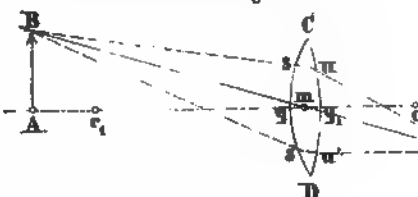
und durch Verbindung der vorstehenden zwei Gleichungen:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}.$$

Diese Formel stellt eine eben so einfache als wichtige Beziehung der Brennweite einer Linse, der Entfernung eines leuchtenden Punktes in der Axe der Linse liegt, erklärt haben, so gilt auch noch für ausserhalb der Axe gelegene Punkte, wenn die Voraussetzung erfüllt wird, dass die Neigungswinkel der Lichtstrahlen gegen die Axe klein und die Linsendicken nicht gross sind. Unter diesen Annahmen gilt sie folglich auch für eine Reihe von Punkten, welche eine Linie bilden, eine Reihe von Linien, welche eine Fläche bilden.

§. 50. Lage und Grösse des Bilds. Stellt in der 42. Figur zur Axe  $c c_1$  senkrecht stehende leuchtende Linie vor, für welche ausgesprochene Voraussetzung stattfindet, so bildet sich der Punkt A auf dem Hauptstrahle A m in  $A_1$  und der Punkt B auf dem Hauptstrahle B m in  $B_1$ , und somit die Linie A B in  $A_1 B_1$  ab. Das Bild  $A_1 B_1$  steht in der Entfernung  $A_1 m = a_1$  senkrecht zur Linse hat nothwendig die verkehrte Stellung des Gegenstands A B.

Fig. 42.



Aus der Formel (21) ergibt sich die Bildweite

$$a_1 = \frac{a f}{a - f}$$

und aus der vorstehenden Figur die Stellung und Grösse des Bilds aus den beiden ähnlichen Dreiecken A B m und  $A_1 B_1 m$ , (wobei  $A m = a$ ,  $A_1 m = a_1$ ,  $A B = h$  und  $A_1 B_1 = -y$  gesetzt wird der Gleichung (22) folgt

$$y = - \frac{h f}{a - f}$$

und es ist hier die Stellung des Bilds durch das Vorzeichen und Grösse durch den absoluten Werth von  $y$  bestimmt. Grösse und Entfernung des Gegenstands sind durch die positiven Werthe  $a$ , und die Brennweite der Linse ist durch den positiven Werth  $f$  v

Aus den vorstehenden Gleichungen kann man leicht die Werthe  $a_1$  und  $y$  finden, welche verschiedenen Werthen von  $a$  entspricht zunächst an jenem Werthe von  $a$ , welcher 1) ein Bild lieft wie der Gegenstand selbst vor der Linse liegt, also  $a_1$  negativ 2) dem Bilde dieselbe Stellung gibt, welche der Gegenstand hat positiv macht; 3) den Gegenstand vergrössert zeigt, d. h. den V

; und der endlich 4) das vergrösserte Bild  
entspricht aber nur der Werth  $a < f$ , d. h.  
innerhalb der vorderen Brennweite der Linse.  
3) die positive Entfernung des Gegenstands  
zeichnet, so gehen die Ausdrücke für  $a_1$  und

$$= - (f - e) \frac{f}{e} \quad (24)$$

$$v = + h \frac{f}{e} \quad (25)$$

dadurch die aufgestellten Anforderungen er-  
kaichtigt, dass das Verhältniss  $f : e$  stets  
kleiner als  $f$  sein muss.

Das die letzten zwei Gleichungen aussagen,  
bildlich dar: C D ist eine  
biconvexe Linse, F ihr vor-  
derer Brennpunkt, Fm die  
Brennweite  $f$ . In dem Punkte  
P, der um das Stück P F  
 $= e$  innerhalb der Brenn-  
weite liegt, steht der Gegen-  
stand A B von der Grösse  
 $h$  aufrecht. Die von A und  
B ausgehenden Hauptstrah-  
len A m und B m müssen  
die Bilder von A und B ent-

den aber von den übrigen Strahlen wie A s  
vor der Linse in  $A_1$  und  $B_1$  geschnitten;  
von A und B, und  $A_1 B_1$  stellt das Bild  
rd, erstens vor der Linse, zweitens in auf-  
grössert dar.

ungen (24) und (25), dass nicht bloss eine  
ke Linse als Lupe gebraucht werden kann,  
d y ihre Vorzeichen behalten, weil sich das  
eichung (20) folgt, wenn man daselbst für  
elche den drei Formen der Convexlinsen  
exen Linsen werden häufig planconvexe als  
eine geringe Kugelabweichung haben und  
Uebrigens lassen sich auch Glaskugeln als  
r Forderungen 3 und 4, welche Vergrösse-  
ergleiche man §. 51.)

r **Lupen.** Der Ausdruck (24) lehrt, dass  
r der Linse um so grösser wird, je kleiner

der Nenner  $e$  ist, je näher also der Gegenstand am vorderen Brennpunkte der Linse steht. Da es jedoch bei einer Lupe darauf ankommt, dass man das Bild deutlich sieht, so muss  $a_1$  für jedes Auge einen bestimmten Werth haben, welcher dessen Sehweite entspricht, und diesen Werth erhält  $a_1$  dadurch, dass man die Lupe dem Gegenstande mehr oder weniger nähert. Heisst nun die deutliche Sehweite eines Auges, das wir uns im Punkte  $Q$  der vorigen Figur denken wollen,  $w$  und sein Abstand  $Q$   $m$  von der Linse  $d$ , so muss, wenn das Bild in der Sehweite erscheinen soll, offenbar  $w - d = -a_1$  und deshalb

$$e(w - d) = f(f - e)$$

werden. Hieraus findet man

$$\frac{f}{e} = \frac{w - d}{f} + 1. \quad (26)$$

Versteht man unter der Vergrößerung  $v$  einer Lupe das Verhältniss der Grösse des Bilds zu der des Gegenstands, also das Verhältniss von  $y : h$ , so folgt aus Gleichung (25)

$$v = \frac{f}{e} \quad (27)$$

d. h. die Vergrößerung ist gleich der Brennweite der Lupe getheilt durch den Abstand des Gegenstands vom Brennpunkte. Je kleiner  $e$  wird, desto mehr beträgt die Vergrößerung; für ein bestimmtes  $w$  kann aber  $e$  nur den Werth haben, welcher sich aus Gleichung (26) ergibt. Dieser Werth von  $e$  ist für einen Weitsichtigen kleiner als für einen Kurzsichtigen, und deshalb vergrößert eine und dieselbe Lupe für jenen mehr als für diesen. Für  $d = 0$  wird

$$v = \frac{w}{f} + 1 \quad (28)$$

d. h. wenn man das Auge ganz nahe an die Lupe hält, so beträgt ihre Vergrößerung eine Einheit mehr als der Quotient aus der Brennweite in die Weite des deutlichen Sehens. Wird  $d = f$ , so folgt

$$v = \frac{w}{f} \quad (29)$$

d. h. wenn sich das Auge um die Brennweite der Linse hinter dieser befindet, so ist deren Vergrößerung geradezu dem Quotienten aus der Brennweite in die Sehweite gleich.

Aus den Gleichungen (28) und (29) ergibt sich noch unmittelbarer als aus (27), dass eine und dieselbe Lupe für einen Weitsichtigen mehr als für einen Kurzsichtigen vergrößert.

§ 52. **Kugelabweichung.** Theorie und Erfahrung lehren, dass die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen von einer aus Kugelflächen gebildeten Linse nur dann wieder in einem physischen Punkte vereinigt werden, wenn sie ganz dicht an der Axe dieser Linse einfallen; ausserdem aber durchschneiden die gebrochenen Strahlen die Linsenaxe um so früher, je grösser der Abstand der einfallenden Strahlen von der Axe ist, wie

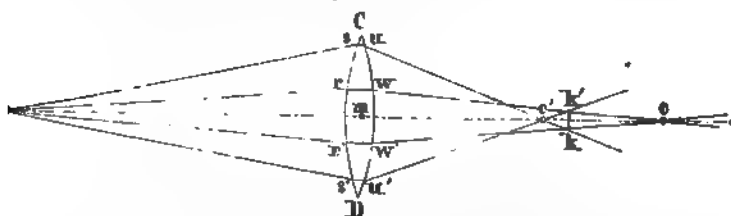
## 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

zeigt, bei der die auffallenden Strahlen als von einem ziemlich entfernten Punkte ( $p$ ) kommend angenommen wurden.

zeichnen  $p s$ ,  $p s'$  alle Randstrahlen, welche gleiche Abstände ( $m s$ ,  $m s'$ ) in der Axe haben, so schneiden sich dieselben in einem Punkte  $c'$ , und sind die Abstände  $m s$ ,  $m s'$  die grösstmöglichen, so ist  $c'$  der Schnittpunkt an der Linse. Stellen dagegen  $p r$  und  $p r'$  alle gleichliegenden, sehr nahe an der Axe befindlichen Strahlen vor, so ist  $c$  der nächste Schnittpunkt der Strahlen. Alle Strahlen, welche zwischen  $r$  und  $s$  liegen, treffen die Linsenaxe in der Strecke  $c' c$  und gehen in die Kreisfläche von dem Durchmesser  $k k'$ , den man sich sehr klein denken hat.

dieser Kreisfläche hat sich das Bild des leuchtenden physischen  $p$  ausgedehnt. Ein anderer neben diesem gelegener Punkt wird gleicher Weise abbilden, und es ist klar, dass die Bilder beider in  $c$  übergreifen und daher die Deutlichkeit eines jeden stören müssen. Diese Störung einzig und allein von der Kugelgestalt der Linsenflächen her, so hat man derselben den Namen sphärische Aberration oder

Fig. 44.



Abweichung gegeben. Eine nähere Darstellung des Wesens dieser Abweichung liegt nicht in unserem Zwecke und kann nur in den ausführlicheren Büchern der Optik gesucht werden; aber die Mittheilung folgender Resultate über die Kugelabweichung geführten Untersuchungen halten wir für überflüssig:

Durch Rechnung kann man die Formen von plan- und biconvexen Linsen bestimmen, welche keine Kugelabweichung haben, bestimmen; die Erfahrung lehrt aber, dass die Herstellung der hyperboloidischen und ellipsoidischen Linsen, welche sie erfordern, zu schwierig ist.

Die Kugelabweichung einer Linse wird vermindert, wenn man ihre Brennweite durch eine Blende, d. h. durch einen den Rand verdeckenden unvollständigen Ring verkleinert: die Breite des unbedeckten Theils soll nicht mehr als ein Drittel der Brennweite betragen oder höchstens halb so gross als der Halbmesser der am stärksten gekrümmten Linsenfläche.

Eine biconvexe Linse hat eine grössere oder kleinere Kugelabweichung, je nachdem ihre stärker oder schwächer gekrümmte Fläche dem leuchtenden Gegenstande zugewendet ist: man soll also die Brennweite vom kleinsten Halbmesser zur Vorderfläche machen, wenn sich das

Bild hinter der Linse erzeugt; ausserdem aber zur Hinterfläche, wie bei den Lupen.

4) In Beziehung auf Kugelabweichung hat eine biconvexe Linse die beste Form, wenn sich der Halbmesser  $r$  ihrer Vorderfläche zum Halbmesser  $r_1$  der Hinterfläche wie  $(4 + n - 2n^2)$  zu  $(2n^2 + 1)$  verhält, wobei  $n$  seine bisherige Bedeutung hat.

5) Die planconvexe Linse steht der biconvexen von bester Form dann am nächsten, wenn ihre ebene Fläche, in gleicher Weise wie bei der biconvexen Linse die flache Krümmung, der Bildseite zugewendet ist.

6) Zwei nahe an einander gestellte Linsen von entsprechenden Krümmungshalbmessern geben eine von der Kugelabweichung befreite Doppellinse. Dergleichen Linsen sind bessere Lupen als die einfachen, weil sie gleichzeitig grössere Deutlichkeit und stärkere Vergrößerung gewähren.

§. 53. **Fassung der Lupen.** Die Lupen für Messinstrumente sind entweder in einen Ring oder einen Messingcylinder gefasst. Diese Fassung wird

Fig. 45.

Fig. 46.

Fig. 47.

Fig. 48.



gewöhnlich von einem Stiele getragen, der mit dem Instrumente verbunden und so eingerichtet ist, dass sich die Lupe über die von ihr zu vergrößernde Theilung bewegen und dieser nach Bedürfniss nähern lässt.

An den später zu beschreibenden Messinstrumenten sind verschiedene Lupen abgebildet. Hier wird es genügen, einige Worte über die Wilson'sche Lupe zu sagen, von der Fig. 45 eine Ansicht und Fig. 46 einen Durchschnitt gibt. Die Cylinderfassung ist so lang als die Brennweite und hat der Linse gegenüber einen Deckel mit Schloß (a), an welches das Auge zu halten ist. Diese Fassung entspricht also dem durch Gleichung (29) vorgestellten Falle. In der Mitte der Fassung befindet sich ein ringförmiges Blech (b, b), welches die Blendung oder das Diaphragma heisst und den Zweck hat, die Randstrahlen der Linse, welche die Deutlichkeit des Bildes stören, nicht in das Auge gelangen zu lassen. Um alle Spiegelungen an der Cylinderwand zu entfernen, wird die Fassung inwendig schwarz angestrichen oder doch wenigstens matt gearbeitet.

Da einfache Linsengläser nicht bloss mit dem Fehler der Kugelabweichung, sondern auch mit dem der Farbenabweichung behaftet sind, letzterer aber durch zwei oder mehr Linsen gehoben werden kann, so stellt man auch achromatische Lupen aus zwei Gläsern (Fig. 47) oder dreien (Fig. 48) her, deren Theorie auf den in §. 56 entwickelten Sätzen beruht.

#### D. Mittel zur Vergrösserung weit entfernter Gegenstände.

§. 54. Die Vorrichtungen, welche entfernte Gegenstände so abbilden und vergrössern, dass sie deutlich erkannt werden können, heissen Fernrohre. Dieselben bestehen im Allgemeinen entweder bloss aus Linsen, oder aus Linsen und Spiegeln, welche durch Rohre in bestimmter Weise verbunden sind. Zu Vermessungen gebraucht man nur Fernrohre der ersten Gattung (dioptrische); für astronomische Beobachtungen sind aber auch noch Fernrohre der zweiten Gattung (katoptrische) im Gebrauch.

Die dioptrischen Fernrohre sind mannichfaltiger Einrichtungen fähig und man unterscheidet desshalb verschiedene Arten derselben; als Messfernrohr wird jedoch fast nur das astronomische und selten das terrestrische angewendet. Wir werden daher hier auch nur jenes betrachten.

#### Das astronomische Fernrohr.

§. 55. **Einfachster Bau.** Das astronomische oder Kepler'sche Fernrohr besteht in seiner einfachsten Gestalt aus zwei convexen Glaslinsen, welche in eben so viele verschiebbare cylindrische Röhren gefasst sind. Die grössere Linse, welche beim Beobachten stets gegen den Gegenstand (das Object) gerichtet ist und die von diesem kommenden Lichtstrahlen in ihrem Brennpunkte oder dessen Nähe zu einem Bilde vereinigt, heisst das Objectiv, und die kleinere Linse, durch welche man das von der grösseren erzeugte Bild betrachtet, das Ocular. Das Objectiv befindet sich in der Objectivröhre und das Ocular in der Ocularröhre. Beide sollen sich gegen einander so verschieben lassen, dass ihre Axen in eine gerade Linie fallen. Die Axe der Objectivröhre heisst die mechanische Axe und die Axe des Objectivs die optische Axe des Fernrohrs.

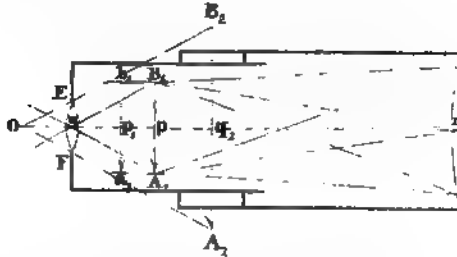
Bei den zunächst folgenden Betrachtungen über die Wirkungsweise eines so einfachen astronomischen Fernrohrs, wie es eben beschrieben wurde, werden wir voraussetzen, dass die Axen sowohl der beiden Gläser als der beiden Röhren eine einzige gerade Linie bilden; später wird dann von den Folgen die Rede sein, welche aus einer hievon abweichenden Lage dieser Axen hervorgehen.

§. 56. **Lage des Bilds.** Fig. 49 stelle den Durchschnitt eines Fernrohrs von der eben angegebenen Einrichtung vor: C D sei das Objectiv, E F das Ocular und u m q die gemeinschaftliche Axe.



Ein sehr weit entfernter Gegenstand A dem Brennpunkte p des Objectivs verkehrt ab. das Ocular, welches genau wie eine Lupe wi

Fig. 49.



erscheinen, wenn es sehr nahe am Brennpunkt wenig innerhalb desselben sich befindet (§. 50). weit entfernten Gegenständen die gegenseitige fast genau gleich ist der Summe ihrer Brenn

Ist der Gegenstand A B nicht sehr weit v das Bild  $A_1 B_1$  über den Brennpunkt p hin Gleichung (22) die Bildweite  $a_1$  grösser wird diese gegen die Entfernung  $a$  des Gegenstands darf. Damit man aber das Bild  $a_1 b_1$ , welche muss das Ocular wieder um seine Brennweite es ist daher für nicht sehr weit entfernte Geg Linsen etwas grösser als die Summe ihrer Br

Die Gleichung (22) gibt die Grösse der  $A_1 B_1$  der Linsen eines bestimmten Fernrohrs, wenn verschiedene Entfernungen ( $a$ ) des Gegenstands berechnet. So ist für eine Objectivlinse von Abstand des Bildes = 1,005 Fuss, wenn der C ist, und die Bildweite = 1,111 Fuss bei einer von nur 10 Fuss. Der Unterschied in den einen Decimalzoll (32 Millimeter), und um so stand der Linsen ändern lassen.

Hieraus ergibt sich die Nothwendigkeit oder allgemeiner: das Bedürfniss einer Vor Abstands des Oculars vom Objective. Bei nämlich, während das Ocular feststeht, das werden; in den meisten Fällen ist aber das Oc für dessen Bewegung die Regel, dass es bei Gegenstands dem Objective zu nähern und be ihm zu entfernen ist. Um wie viel man es z Beobachtung von selbst an, indem man immer das Bild am deutlichsten erscheint. Mit Rück

Gleichung (27) erklärt sich auch die Erscheinung, dass das Ocular, wenn es für ein normales Auge die richtige Stellung hat, für ein kurzsichtiges noch etwas vor-, für ein weitsichtiges aber noch etwas zurückgeschoben werden muss.

§. 57. **Vergrösserung.** Ein Fernrohr wirkt hauptsächlich durch seine Vergrösserung, worunter man das Verhältniss der scheinbaren Grössen des Bilds und des Gegenstands zu verstehen hat. Die scheinbare Grösse  $\omega$  des Gegenstands ist aber, wenn  $h$  dessen Durchmesser,  $a$  seine Entfernung vom Objective des Fernrohrs und  $l$  dessen Länge bezeichnet, ausgedrückt durch

$$\omega = \frac{h}{a + l}$$

während man für die scheinbare Grösse  $\omega'$  des Bilds, wenn  $y$  die wirkliche Grösse dieses Bilds,  $v$  die Vergrösserung des Oculars und  $w$  die deutliche Sehweite vorstellt, findet:

$$\omega' = \frac{v y}{w}$$

Das Verhältniss von  $\omega'$  zu  $\omega$  gibt die Vergrösserung des Fernrohrs

$$v_1 = \frac{\omega'}{\omega} = \frac{(a + l) v y}{w h} \quad (30)$$

und setzt man für  $y$  und  $v$  die Werthe, welche dafür in den Gleichungen (23) und (29) entwickelt worden sind (wobei jedoch berücksichtigt werden muss, dass die Brennweite des Objectivs eine andere ist als die des Oculars), so wird

$$v_1 = \frac{a + l}{a - f} \cdot \frac{f}{f'} \quad (31)$$

In Berücksichtigung des Umstands, dass die Länge  $l$  des Fernrohrs und die Brennweite  $f$  des Objectivs gegen die Entfernung  $a$  des Gegenstands sehr klein sind, nimmt man das Verhältniss von  $a + l$  zu  $a - f$  gleich der Einheit an, und daher ist die Vergrösserung eines Fernrohrs gleich dem Quotienten aus der Brennweite des Oculars in die Brennweite des Objectivs.

Da aus dem Ausdrücke für  $v_1$  in Gleichung (30) die deutliche Sehweite  $w$  wegfiel, indem man die Werthe für  $y$  und  $v$  einsetzte, so folgt daraus, dass ein und dasselbe Fernrohr für einen Kurz- und Weitsichtigen gleich stark vergrössert. Freilich ist dabei stillschweigend die Voraussetzung gemacht, dass der Kurzsichtige auch den entfernten Gegenstand sehen könne. Da er das mit blosssem Auge nicht kann, so wäre für ihn die Vergrösserung des Fernrohrs eigentlich unendlich gross, wenn man nicht annehmen dürfte, dass er die scheinbaren Grössen des Gegenstands und seines Bilds durch die Brille betrachtet, welche er trägt. Es lässt sich leicht zeigen, dass die scheinbare Grösse des Gegenstands, welche die Brille gibt, von der mit blosssem Auge gesehenen im Allgemeinen nur sehr wenig und in dem Falle gar nicht abweicht, wo die Brille dicht am Auge steht.

## Augenpunkt.

Kennt man die Brennweiten der beiden so kann man dessen Vergrößerung auf dem bestimmen, dass man eine gleichgetheilte Lat das Fernrohr, mit dem anderen aber frei bet grösserten Theile abzählt, welche eine gewisse decken. Der Quotient aus beiden gibt die V

Ist z. B. a b c d in Fig. 50 die gleichgetheilte Latte, wie sie dem unbewaffneten Auge erscheint, so wird A B C D das durch das Fernrohr gesehene Bild von ihr sein. Decken sich in der Richtung C D zwei Theilstriche der Latte und ihres Bilds, so hat man nur die Theile von b bis h und von B bis C zu zählen und mit der kleineren Zahl in die grössere zu dividiren, um die Vergrößerung zu erhalten, welche C in dem vorliegenden Falle =  $53 : 18$  oder nahezu = 3 ist. Ein anderes Verfahren zur E auf practischem Wege ist bei der Prüfung der

§. 58. **Augenpunkt.** Für die Beobacht nicht unwichtig, die Stelle zu kennen, an we hat, um durch das Ocular das vom Objectiv und vollständig zu erblicken. Diese Stelle, v Fernrohrs heisst, kann man theoretisch durc Stellt A in Fig. 51. irgend einen Punkt e

Fig. 51.



C D den Durchschnitt des Objectivs und E F c der von A ausgehende Hauptstrahl A m den leicht aufzufinden ist. Die zu diesem Haup deren Axe er ist, sind I A I', I A' I', i A' i' u schneidet die Linsen- und Fernrohraxe in de Punkt A gilt, lässt sich von allen Punkten d dass nämlich die Axen der von diesen Punl welche das Bild der leuchtenden Fläche erz Mittelpunkt des Objectivs gehen und nach ihrer

senaxe sich schneiden. Denkt man sich nun an den Pupille gebracht, so gehen die Hauptstrahlen durch das Auge, welches damit die grösste Menge des von dem Gegenstande ausgesandten Lichts auffasst. Da kein anderer Punkt vor dem Auge existiert, so stellt  $A''$  den gesuchten Augenpunkt vor.  $A''u = d$  von dem Ocular ergibt sich, wenn man, nach der Brechungsgleichung gemäss, den optischen Mittelpunkt  $m$  des Oculars als Punkt ansieht und in die dioptrische Hauptformel mit  $f$  die Brennweite  $f'$  des Oculars, für  $a$  die Entfernung vom Ocular  $= f + f'$  und für  $a_1$  die gesuchte Entfernung einsetzt. Dadurch erhält man

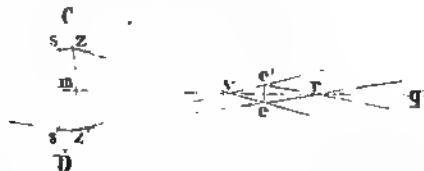
$$d = \frac{f + f'}{f} \cdot f' \quad (32)$$

was andeutet, dass man bei dem einfachen astronomischen Auge um die Brennweite des Oculars vor dieses den abgebildeten Gegenstand in möglichster Ausdehnung übersehen will.

**Verfälschung.** Ein Fernrohr, dessen Objectiv bloss aus einer Linse besteht, leidet an zwei Uebelständen, welche in der Abbildung als Kugelabweichung (sphärische Aberration) und chromatische Aberration bezeichnet werden. Von der chromatischen Aberration wird bereits in §. 52 kurz die Rede, und mit der Kugelabweichung wird die Bewandtniss.

Wird in Folge der Brechung durch die Linse ein einfallender Strahl zerlegt, von denen jeder sein eigenes Brennpunkt besitzt. Die stärkste Brechbarkeit besitzen die violetten Strahlen; zwischen diesen liegen die blau, grün, gelben Strahlen. Wegen des ungleichen Brechungsvermögens der Strahlen entsteht in dem Brennraume der Linse ein Bild, wovon das violette dem Glase zunächst liegt, das gelbe am weitesten entfernt ist. Zwischen diesen befindet sich das weisse Bild wegen seiner grösseren Lichtstärke vorzugsweise hervorgehoben. §. 52 gibt hiervon eine Anschauung.

Fig. 52.



der optischen Achse gelegener leuchtender Punkt und  $p, s, p', s'$  die Abstände von der Achse einfallende Strahlen, so wird die Zerstreuung des Lichts in Farben stattfinden, in

einem Punkte der Axe wieder vereinigen müssten. Wegen der Zerstreuung wird aber der gebrochene Strahl  $ps$  in den Farbenbüschel  $vzr$  und  $ps'$  in den Büschel  $vz'r$  zerlegt: die rothen Strahlen nehmen die Richtungen  $zr$ ,  $z'r$ , die violetten die Richtungen  $zv$ ,  $z'v$  an, und bei  $v$  entsteht das violette, bei  $r$  das rothe Farbenbild. Alle übrigen Strahlen gehen zwischen  $v$  und  $r$  durch die Kreisfläche von dem Durchmesser  $ee'$ . Diese Fläche heisst der Abweichungskreis, während die Störung selbst, welche durch die Farbenzerstreuung in der Vereinigung der von einem Punkte ausgehenden Strahlen zu einem einzigen farblosen Bildpunkte hervorgerufen wird, die chromatische Aberration oder die Farbenabweichung einer Linse genannt wird. Diese Abweichung veranlasst eine noch grössere Undeutlichkeit der Bilder als die Kugelabweichung, und es war daher seit langer Zeit das Bestreben der Optiker darauf gerichtet, sie zu vernichten, d. h. die gefärbten Strahlen wieder zu vereinigen. Dieses Streben hatte einen um so günstigeren Erfolg, als es gleichzeitig die Aufhebung der Kugelabweichung mit sich brachte.

Obwohl die Rechnungen, welche sich auf die Beseitigung der Farbenabweichung beziehen, einfacher sind als jene über die Kugelabweichung, so können hier doch nur die wichtigsten Ergebnisse derselben angeführt werden, welche in Folgendem bestehen:

1) Durch eine einzige Linse, welche Form sie auch haben mag, kann die Farbenabweichung niemals aufgehoben werden; es gehören wenigstens zwei Linsen dazu.

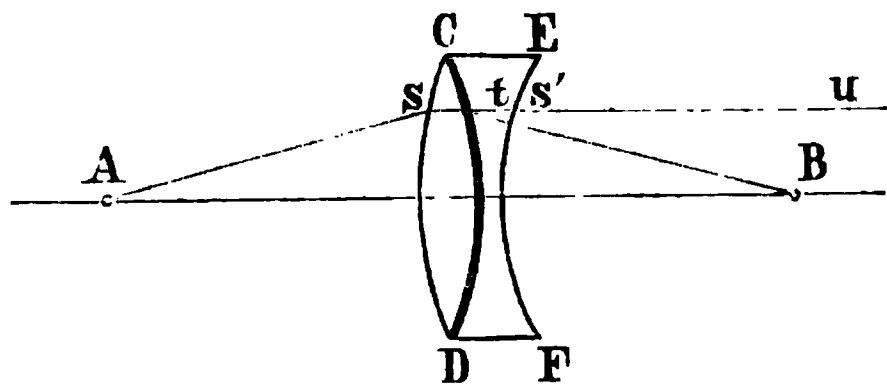
2) Von den zwei Linsen, deren Verbindung farblose Bilder liefert, muss die eine ( $CD$ ) convex, die andere ( $EF$ ) concav sein, und es müssen die dazu verwendeten Glassorten ein ungleiches Zerstreuungsvermögen<sup>1</sup> besitzen.

3) Wäre das letzte nicht der Fall, so würden zwei Linsen von gleicher Brennweite, welche wie in Fig. 53 verbunden sind, gar kein Bild geben, weil das von  $A$  kommende und von der Linse  $CD$  nach dem Brennpunkte  $B$  gebrochene Licht so auf die Linse  $EF$  träfe, als käme es aus ihrem Brennpunkte selbst.

4) Streng genommen werden durch eine convexe Kron- und eine concave Flintglaslinse nur zwei Farben vollständig vereinigt; ordnet man aber die Linsen so an, dass die dunkelblauen und orangefarbenen Strahlen völlig vereinigt werden, so verschwindet auch die von den übrigen Strahlen herführende Abweichung zur Genüge.

5) Da die Farblosigkeit der Bilder bloss verschiedene Glassorten und

Fig. 53.



<sup>1</sup> Bezeichnet  $dn$  die Aenderung des Brechungsverhältnisses  $n$  von einer Farbe zur anderen, so heisst der Quotient aus  $n-1$  in  $dn$  das Zerstreuungsvermögen und  $n^2-1$  die brechende Kraft der Glassorte, welcher das  $n$  angehört.

in einem bestimmten Verhältnisse stehende Brennweiten der Kron- und Flintglaslinsen fordert, nach Gleichung (20) aber zu einer und derselben Brennweite unzählige Paare von Linsenhalmessern passen, so kann mit der Farbenabweichung durch eine schickliche Wahl dieser Halbmesser auch die Kugelabweichung aufgehoben werden.

Eine Linsenverbindung, welche ein farbloses Bild liefert, heisst eine achromatische Linse. Fraunhofer stellte diese Linsen aus einer biconvexen Kronglaslinse und einer dieselbe berührenden planconcaven Flintglaslinse her. Beim Gebrauche wird die convexe Linse immer dem Gegenstande zugewendet, während die concave Linse dem Bilde zunächst steht.

§. 60. Das Objectiv. Um ein Fernrohr von den im vorigen Paragraph berührten zwei Uebelständen, welche aus der Kugel- und Farbenabweichung entspringen, zu befreien, besteht dessen Objectiv nicht, wie wir bis jetzt vorausgesetzt haben, aus einer einfachen Convexlinse, sondern aus einer

Fig. 54.

achromatischen Doppellinse (CF), welche auf die in Fig. 54 angedeutete Weise so gefasst ist, dass sie leicht und sicher in die Objectivröhre eingeschraubt werden kann. Diese Linse bringt keine Aenderung in die bisher auseinander gesetzte Wirkungsweise eines astronomischen Fernrohrs, wenn man nur für die Brennweite  $f$  der einfachen Convexlinse, welche als Objectiv angenommen war, die Brennweite der achromatischen Doppellinse setzt, oder, was dasselbe ist, sich unter  $f$  die Brennweite dieser Linse vorstellt. Will man die Brennweite  $f$  eines Fraunhofer'schen Objectivs

von vorstehender Form oder eines anderen, dessen Linsen sich berühren, aus den beiden Brennweiten  $\varphi$  und  $\varphi'$  der Kron- und Flintglaslinse finden, so dient dazu die Gleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\varphi} + \frac{1}{\varphi'} \quad (33)$$

welche sich ergibt, wenn man erst die Brennweiten  $\varphi$  für die Convexlinse und  $\varphi'$  für die Concavlinse durch die Entfernungen der Gegenstände und ihrer Bilder ausdrückt und hierauf die Bedingung einführt, dass der Abstand beider Linsen null ist. Dabei versteht sich von selbst, dass das Bild der ersten Linse als Gegenstand für die zweite angesehen und der Gegenstand der ersten Linse ausserordentlich weit entfernt gedacht werden muss.

Um die Anwendung der vorstehenden Gleichung an einem Beispiele zu zeigen, nehmen wir an, es sei für die Kronglaslinse  $n = 1,504$ , der vordere Halbmesser  $r = 6'',570$ , der hintere  $r' = 3'',464$ , und für die Flintglaslinse  $n_1 = 1,585$ , der vordere Halbmesser  $r_1 = -3'',464$  und der hintere  $r_1' = 12'',120$ . Hieraus findet man nach Gleichung (20):

$$\frac{1}{\varphi} = (n - 1) \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) = + 0,22119 \text{ und } \varphi = + 4'',50$$

$$\frac{1}{\varphi'} = (n_1 - 1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_1'} \right) = - 0,12215 \text{ und } \varphi' = - 8'',19$$

und wenn man diese Werthe in Gleichung (33) setzt, die Reciproke der Brennweite der Doppellinse:

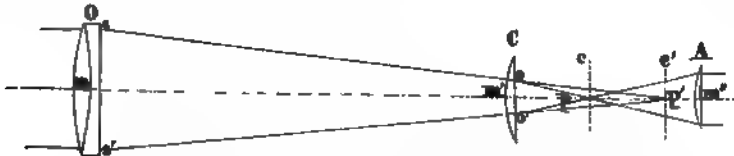
$$\frac{1}{f} = 0,22119 - 0,12215 = + 0,099 \text{ und } f = + 10'',10.$$

§. 61. **Das Ocular.** Dadurch, dass das Objectiv ein farbloses Bild liefert, ist das vom Auge gesehene Bild noch nicht farbenfrei, denn es bringt das Ocular, so lange es nur aus einer einfachen Convexlinse besteht, stets wieder eine Farben- und Kugelabweichung hervor. Man könnte die Farbenabweichungen wie bei dem Objectiv durch eine achromatische Linsenverbindung aufheben; es geschieht aber in der Regel nicht, weil die vom Ocular bewirkten Abweichungen nur gering und um so weniger auffallend sind, als das Auge selbst nicht ganz achromatisch gebaut ist. Gleichwohl setzt man aber auch das Ocular aus zwei, vier oder mehr Linsen zusammen, weil sich dadurch nicht bloss die sphärischen Abweichungen vermindern, sondern auch noch Vortheile in Hinsicht auf die Grösse des Gesichtsfelds und der Helligkeit erlangen lassen:

Wenn ein Ocular nur aus einer Convexlinse besteht, oder aus zweien so zusammengesetzt ist, dass es die Bilder der Gegenstände verkehrt zeigt, so heisst es ein *astronomisches*; besteht es aber aus vier oder mehr Linsen, welche zusammen ein aufrechtes Bild liefern, so wird es ein *terrestrisches* genannt. Der Unterschied zwischen einem astronomischen und terrestrischen Fernrohre besteht einzig und allein in der Verschiedenheit ihrer Oculare. Da wir es hier bloss mit dem astronomischen Fernrohre zu thun haben, so unterwerfen wir auch bloss das astronomische Ocular einer näheren Betrachtung.

Die zweite Linse des astronomischen Oculars, welche von der ersten einen unveränderlichen Abstand hat und folglich mit dieser dem Objectiv genähert oder von ihm entfernt werden kann, heisst die *Collectivlinse* des Fernrohrs, weil sie, wie sogleich gezeigt wird, die auf sie fallenden Lichtkegel in kleinere Räume sammendrängt. Diese und die eigentliche Ocularlinse sind planconvexe Linsen. Wenden diese Ocularlinsen ihre convexen Seiten dem Objectiv zu, so bilden sie ein Huyghens'sches, und wenn sie ihre convexen Seiten sich selbst zukehren, ein Ramsden'sches astronomisches Ocular. In dem ersteren Falle steht, wie in Fig. 55, die

Fig. 55.



Collectivlinse (C) innerhalb der Brennweite (m p') des Objectivs, und das Bild eines vor dem Objectiv befindlichen Gegenstands erzeugt sich zwischen den beiden Ocularlinsen (in p); in dem zweiten Falle aber steht die Col-

lectivlinse ausserhalb der Brennweite des Objectivs und das durch dieses erzeugte Bild befindet sich zwischen der Objectiv- und der Collectivlinse. Für unseren Zweck genügt es, vorläufig die Wirkungsweise des häufiger angewendeten Huyghens'schen Oculars im Allgemeinen zu erörtern.

Stellt O das Objectiv eines astronomischen Fernrohrs,  $p'$  den Brennpunkt dieses Objectivs, C die Collectivlinse und A das Augenglas vor, so ist klar, dass die auf das Objectiv treffenden Lichtstrahlen sich nicht in der Brennebene  $p'e'$  zu einem Bilde vereinigen können, weil sie vorher auf die Convexlinse C treffen, welche die bereits gegen die Axe geneigten Strahlen ( $so, s'o'$ ) durch Brechung noch stärker neigt und daher die Bildebene von  $p'$  nach  $p$  rückt. Die erste Wirkung der Collectivlinse besteht also darin, dass sie die Bildweite um die Länge  $pp'$  verkürzt. Da aber wegen des deutlichen Sehens die Brennebene der Ocularlinse A mit der Bildebene  $pe$  zusammenfallen muss, so wird, wie man sieht, in Folge der eingeschalteten Collectivlinse auch das ganze Fernrohr um das Stück  $pp'$  kürzer. Die übrigen Einwirkungen dieser Linse, welche wesentlich sind als die eben angedeuteten, ergeben sich aus den nachfolgenden Betrachtungen über die Helligkeit und das Gesichtsfeld eines Fernrohrs. Wir legen denselben die vortreffliche Abhandlung von G. S. Ohm in dessen „Grundzügen der Physik“ (Seite 464 bis 488) zu Grunde.

§. 62. **Natürliche Helligkeit.** Jeder leuchtende Punkt strahlt nach allen Seiten hin Licht aus. Gelangt ein Theil dieses Lichts durch die Pupille in's Auge, so sehen wir den Punkt, indem sein auf der Netzhaut erzeugtes Bild in uns die Empfindung jenes Punkts hervorruft. Diese Empfindung ist stärker oder schwächer, je nachdem die in's Auge gelangende Lichtmenge grösser oder kleiner ist. Diese Lichtmenge hängt aber sowohl von der Grösse der Pupille als von der Stärke des am Auge ankommenden Lichts ab; es wird daher die Stärke der Empfindung im Auge  $= p s$  sein, wenn  $p$  die Grösse der Pupille und  $s$  die Stärke des Lichts vor dem Augapfel ist. Sendet nicht bloss ein leuchtender Punkt, sondern die unendliche Anzahl von Punkten einer leuchtenden Fläche Licht in das Auge, so ist unter der Voraussetzung einer gleichförmigen Lichtstärke in jedem Punkte der Fläche der im Auge bewirkte Lichteindruck oder die Beleuchtung des im Auge empfundenen Bilds dieser Fläche:  $L = u p s$ , wobei  $u$  eine ausserordentlich grosse Zahl vorstellt. Die Lichtmenge  $L$  ist über die ganze Bildfläche  $b_1$  verbreitet; es trifft folglich auf die Flächeneinheit des Bilds eine Lichtmenge  $= L : b_1$ , und diese Lichtmenge entspricht der Helligkeit  $h$  des Bilds im Auge und somit auch der Helligkeit, unter welcher die leuchtende Fläche vor dem Auge erscheint. Es ist folglich

$$h = \frac{L}{b_1} = \frac{u s p}{b_1}. \quad (34)$$

Bezeichnet  $b$  die aus  $u$  Punkten bestehend gedachte leuchtende Fläche, so ist offenbar  $u s$  die Stärke des von ihr kommenden Lichts unmittelbar am Auge. Aus der Optik ist aber bekannt, dass die Stärke des von einer leuch-



tenden Fläche ( $b$ ) ausgehenden Lichts von der Intensität  $i$  mit dem Quadrat der Entfernung ( $e$ ) abnimmt; es wird daher in dem vorliegenden Falle

$$u s = \frac{b i}{e^2} \quad (35)$$

und wenn man diesen Werth in Gleichung (34) setzt:

$$h = \frac{b i}{b_1 e^2} p. \quad (36)$$

Nach §. 22 und Fig. 3 verhalten sich die Durchmesser der Flächen  $b$ ,  $b_1$  des Gegenstands und seines Bilds wie ihre Abstände  $e$ ,  $e_1$  vom Kreuzungspunkte ( $m$ ) des Auges, und folglich die Flächen selbst wie die Quadrate dieser Abstände. Setzt man den Werth von  $b : b_1$ , welcher sich aus der Proportion

$$b : b_1 = e^2 : e_1^2$$

ergibt, in die letzte Gleichung ein, so wird

$$h = \frac{i p}{e_1^2}. \quad (37)$$

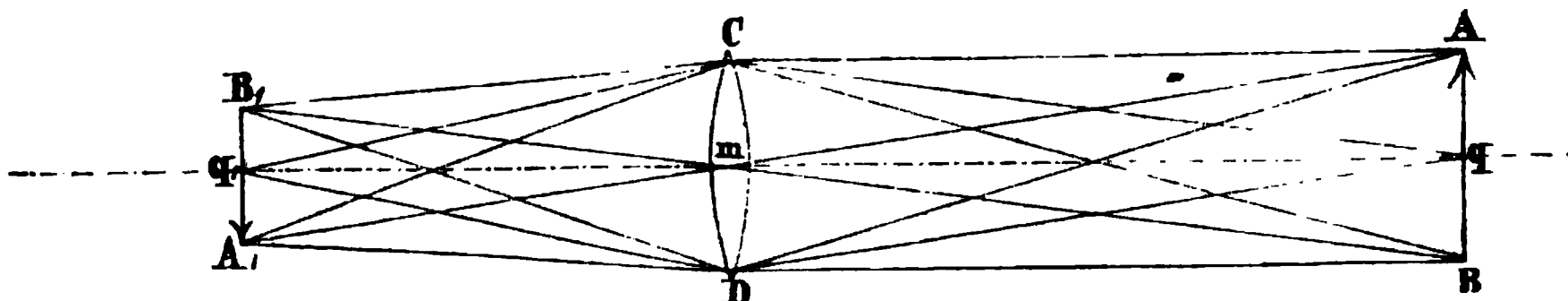
Hieraus folgt, dass die Helligkeit, womit man eine leuchtende Fläche sieht, nicht von deren Entfernung, wohl aber von der Grösse der Pupille und der Intensität des in der Fläche thätigen Lichts abhängt. Bei vollkommen reiner Luft sehen wir somit einen und denselben Gegenstand in sehr verschiedenen Abständen vom Auge gleich hell.

Alle äusseren Gegenstände, die wir anschauen, füllen, weil sie nach allen Richtungen strahlen, die ganze Pupille mit Licht aus, und da sich deren Grösse unter gewöhnlichen Umständen fast gar nicht ändert, so kann man für die Betrachtung jener Gegenstände auch die Grösse  $p$  als unveränderlich und folglich die Helligkeit als bloss von der Intensität  $i$  abhängig ansehen. Wenn wir dagegen, wie es bei Fernrohren der Fall ist, nur Bilder äusserer Gegenstände betrachten, so kann es kommen, dass nicht mehr die ganze Pupille mit Licht von diesen Bildern ausgefüllt wird, sondern nur ein Theil  $p'$  derselben. In diesem Falle erhält man aus der letzten Gleichung die Helligkeit  $h$ , wenn man  $p'$  für  $p$  setzt; denn wenn nur die Fläche  $p'$  der Pupille Licht empfängt, so ist das mit einer Zusammenziehung der Pupille auf die Grösse  $p'$  gleichbedeutend. Wir müssen demnach die Helligkeit, welche das blosse Auge gibt, oder die natürliche Helligkeit, von der Helligkeit eines optischen Instruments, z. B. eines Fernrohrs, unterscheiden. Die natürliche Helligkeit ist stets durch den Ausdruck (37) gegeben, die des Fernrohrs aber wird in den folgenden Paragraphen zugleich mit der Grösse des Gesichtsfelds bestimmt.

§. 63. Helligkeit der Linsenbilder. Stellt in Fig. 56 die Linie  $A B$  einen leuchtenden Gegenstand vor, welcher von der Linse  $C D$  um mehr als deren Brennweite entfernt ist, so gehen von den Punkten  $A$ ,  $B$ ,  $q$  die Lichtkegel  $A C D$ ,  $B C D$ ,  $q C D$  zur Linse und hinter dieser entstehen die Lichtkegel  $C A_1 D$ ,  $C B_1 D$ ,  $C q_1 D$ , welche in der Linie  $A_1 B_1$  die Bilder  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $q_1$  der leuchtenden Punkte  $A$ ,  $B$ ,  $q$  darstellen. Vernachlässigt man den Lichtverlust, welcher durch die Brechung in der Linse veranlasst wird,

so kommt in den Bildpunkten eben so viel Licht an, als von den zugehörigen Gegenstandspunkten ausging. Je zwei zusammengehörige Kegel enthalten an ihren in der Linse liegenden Grundflächen gleichviel Licht: es

Fig. 56.



geben folglich je zwei solche Kegel in den Entfernungen  $m q = a$  und  $m q_1 = a_1$  gleiche Beleuchtung oder einerlei Lichtstärke. Heisst diese Stärke des Lichts an der Linsenfläche  $\sigma$ ; jene, welche in dem Kegel  $C q D$  in der Entfernung  $\varepsilon$  von der Spitze  $q$  stattfindet,  $s$ , und die Lichtstärke in dem Kegel  $C q_1 D$  an der Stelle, welche ebenfalls um  $\varepsilon$  von der Spitze abliegt,  $s_1$ , so gelten nach bekannten Sätzen folgende zwei Proportionen:

$$\sigma : s = \varepsilon^2 : a^2 \quad \text{und} \quad \sigma : s_1 = \varepsilon^2 : a_1^2$$

aus denen die dritte folgt:

$$s : s_1 = a^2 : a_1^2 \quad (38)$$

welche lehrt, dass sich die Lichtstärken in gleichweit von den Spitzen entfernten Querschnitten zweier zusammengehöriger Lichtkegel wie die Quadrate der Kegelhöhen verhalten.

Bezeichnen  $b$  und  $b_1$  die zusammengehörigen Flächen des leuchtenden Gegenstands und seines Bilds, wovon der erstere die Entfernung  $a$  und das letztere die Entfernung  $a_1$  von der Linse hat, so verhält sich:

$$b : b_1 = a^2 : a_1^2. \quad (39)$$

Da jeder Punkt der leuchtenden Flächen  $b$  und  $b_1$  in der Entfernung  $\varepsilon$  eine Lichtstärke liefert, welche beziehlich  $s$  und  $s_1$  ist, so werden alle Punkte der Flächen  $b$  und  $b_1$ , d. h. diese selbst in der Entfernung  $\varepsilon$  Lichtwirkungen  $m$  und  $m_1$  hervorbringen, welche sich wie  $s$  und  $s_1$  verhalten; es findet somit die Gleichung statt:

$$m : m_1 = s : s_1 = a^2 : a_1^2 = b : b_1 \quad (40)$$

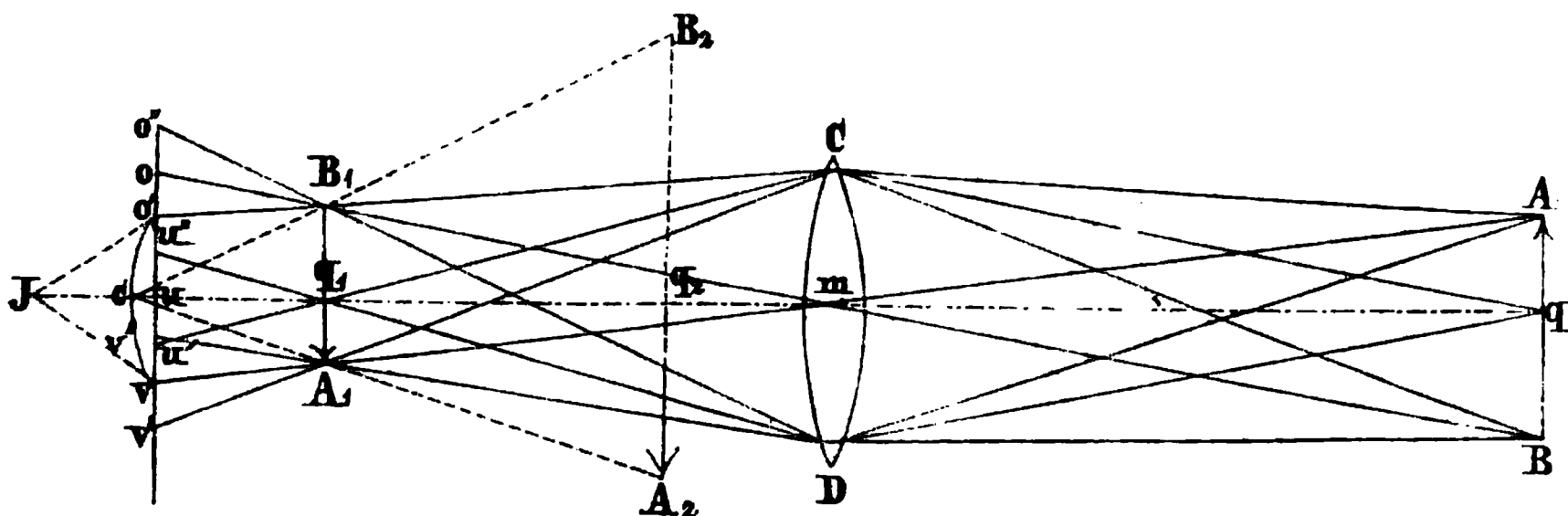
von denen die letztere lehrt, dass die leuchtende Fläche und ihr Bild gleiche Lichtintensität besitzen, und dass demnach auch Gegenstand und Bild im Auge gleich hell erscheinen, wenn alle einzelnen Lichtkegel die Pupille vollständig bedecken. Füllen die vom Bilde ausgehenden Lichtkegel nur einen Theil  $p'$  der Pupille aus, so ist, wie schon im vorigen Paragraph bemerkt wurde, die Helligkeit in dem Verhältniss von  $p$  zu  $p'$  geringer.

Es versteht sich von selbst, dass die vorstehenden Betrachtungen sich nicht ändern, wenn man statt des leuchtenden Gegenstands ein Bild annimmt; man kann dieselben also auch auf eine zweite, dritte, vierte Linse und die von denselben erzeugten Bilder der vor ihnen befindlichen Bilder anwenden; ja man kann das Auge selbst als die letzte dieser Linsen betrachten. Auf dieser Erwägung und auf der Voraussetzung, dass der durch

die verschiedenen Brechungen entstehende Lichtverlust nicht bedeutend sei, beruht die weitere Folgerung: dass alle in einem Fernrohre und in dem vor ihm befindlichen Auge entstehenden Bilder dieselbe Lichtintensität besitzen, wie der leuchtende Gegenstand, wenn die von dem letzten Bilde ausgehenden Lichtkegel die Pupille ganz ausfüllen.

§. 64. Helligkeit und Gesichtsfeld bei zwei Linsen. Bezeichnet  $C D$  in Fig. 57 eine Objectivlinse, so wird dieselbe hinter sich von einem vor ihr

Fig. 57.



liegenden Gegenstände  $A q B$  die Strahlenkegel  $C A_1 D$ ,  $C B_1 D$ ,  $C q_1 D$  erzeugen, welche den leuchtenden Punkten  $A$ ,  $B$ ,  $q$  entsprechen, von denen  $q$  in der Linsenaxe liegen soll. Die in den Bildkegeln liegenden Strahlen gehen über die Spitzen  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $q_1$  fort und bilden zwischen den Flächen  $A_1 B_1$  und  $o'' v'$  die Scheitelräume  $A_1 v' v''$ ,  $B_1 o' o''$ ,  $q_1 u' u''$  der Bildkegel, welche sich gerade so verhalten, als ob  $A_1$ ,  $B_1$ ,  $q_1$  leuchtende Punkte wären von der Beschaffenheit, dass sie ausserhalb dieser Scheitelräume kein Licht geben. Denkt man sich an die Ebene  $o'' v'$  eine Ocularlinse ( $c$ ) gerückt, so kann diese entweder alles Licht der Scheitelräume aufnehmen oder nur einen Theil davon. Nach unserer Figur empfängt diese Linse alles Licht des mittleren, einen Theil des unteren und gar kein Licht des oberen Scheitelraums. Es ist nun von selbst klar, dass in diesem Falle die Ocularlinse nur von den Punkten  $A_1$  und  $q_1$  neue Bilder erzeugen kann, von  $B_1$  aber nicht; und dass das Bild von  $q_1$ , weil es das volle Licht hat, heller sein wird als das von  $A_1$ .

Es ist wohl nicht überflüssig, daran zu erinnern: erstens, dass der Gegenstand (hier das Bild  $q_1$  oder  $A_1$ ), welcher von einer Ocularlinse deutlich gesehen werden soll, sehr nahe um deren Brennweite von ihr stehen muss; und zweitens, dass nur der mittlere Theil einer Linse wirksam, der äussere aber verdeckt ist, um deren Kugelabweichung möglichst zu vermindern. Nach §. 52 Nr. 2 S. 73 hat man sich die wirksamste Breite  $E F$  der Objectiv- und der Ocularlinse höchstens gleich der Hälfte des Halbmessers der am stärksten gekrümmten Fläche oder höchstens gleich einem Drittel der Brennweiten ( $f$ ,  $f_1$ ) dieser Linsen vorzustellen. Wir werden diese Breite, wo es nöthig ist,  $= \mu f$  setzen, wobei  $\mu$  stets kleiner als 0,33 ist.

Wenn man der Ocularlinse  $c$  nur eine flache Wölbung gibt, so kann man die Ebene  $o''v'$ , welche die Linse in  $u$  berührt und auf der Axe  $cm$  senkrecht steht, für die vordere Linsenfläche gelten lassen. Bei dieser Annahme werden die Durchmesser  $u'u''$ ,  $v'v''$ ,  $o'o''$  der Scheitelräume, welche zu  $q_1$ ,  $A_1$ ,  $B_1$  gehören, einander gleich, weil die Dreiecke  $Cq_1D$  und  $u'q_1u''$ ,  $CA_1D$  und  $v'A_1v''$ ,  $CB_1D$  und  $o'B_1o''$  einander ähnlich, die grösseren Dreiecke alle gleichgross und die Höhen der kleineren Dreiecke gleichlang sind. Bezeichnet demnach

$\beta$  den Halbmesser der Kreise, nach welchen die Scheitelräume von  $A_1$ ,  $q_1$ ,  $B_1$  die Ebene  $o''v'$  schneiden,

$y$  die halbe wirksame Oeffnung der Objectivlinse  $CD$ ,

$a_1$  die Bildweite des Objectivs  $CD$ , und

$f_1$  die Brennweite der Ocularlinse  $c$ ,

so verhält sich:

$$y : \beta = a_1 : f_1.$$

Nimmt man die Ocularlinse sehr dünn an, so darf man auch den Halbmesser  $\rho$  der Grundflächen der aus ihr tretenden Lichtkegel, welche bei dem Eintritte den Halbmesser  $\beta$  haben, diesem Halbmesser  $\beta$  gleich setzen. Da die Strahlen dieser Kegel aus der Brennebene des Oculars kommen, so werden sie nach der Brechung fast parallel mit der Axe austreten und folglich nahezu in der Breite  $2\rho$  zum Auge gelangen. Ist nun  $\beta$  nicht kleiner als  $\rho$  und stellt  $\rho$  den Halbmesser der Pupille vor, so werden die Lichtkegel von der Breite  $2\beta$  oder  $2\rho$  die Pupille ganz ausfüllen. Setzt man in der letzten Gleichung  $\rho$  für  $\beta$ , so kann man aus der Proportion:

$$y : \rho = a_1 : f_1 \quad (41)$$

die Brennweite  $f_1$  einer Ocularlinse bestimmen, welche zu einem Objectiv von der wirksamen Oeffnung  $2y$  und einer Brennweite  $f$ , die der Grösse  $a_1$  fast gleich ist, dann gehört, wenn alle Strahlenkegel die Pupille noch ganz ausfüllen und somit die Bilder ihre volle Helligkeit haben sollen. Bedenkt man weiter, dass das Verhältniss  $a_1 : f_1$  sehr nahe die Vergrösserung des Fernrohrs ausdrückt, so lehrt die letzte Gleichung auch, dass die Vergrösserung nicht mehr als  $y : \rho$  betragen darf, wenn die Helligkeit des Bilds die natürliche sein soll.

Hierbei ist vorausgesetzt, dass alle von dem Bilde kommenden Lichtkegel die Breite der Pupille haben und durch das Ocular zum Auge gelangen können; da dieses aber nicht immer der Fall ist, so muss noch weiter untersucht werden, was geschieht, wenn  $\beta$  grösser oder kleiner als  $\rho$  ist und die Lichtkegel nur theilweise oder gar nicht durch die Ocularlinse dringen. Wenn  $\beta > \rho$  ist, so dürfen ohne Zweifel die Lichtkegel in der Breite  $2\beta - 2\rho$  über den Rand der Ocularöffnung hinausfallen, ohne dass eine Verminderung der Helligkeit eintritt. Will man bestimmen, wie weit in diesem Falle die Axen ( $A_1v$ ) der Lichtkegel ( $A_1v'v''$ ) an der Ebene  $o''v'$  von der Instrumentenaxe ( $cm$ ) abstehen dürfen, so ist, wenn man diesen





die Gleichung (44), so erhält man für das Gesichtsfeld von grösster gleicher Helligkeit:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\eta - \rho}{f_1 (v_1 + 1)} = \frac{\omega}{v_1 + 1} \quad (51)$$

wobei  $\eta - \rho = \omega f_1$  ist; und für das Gesichtsfeld von grösster ungleicher Helligkeit wird

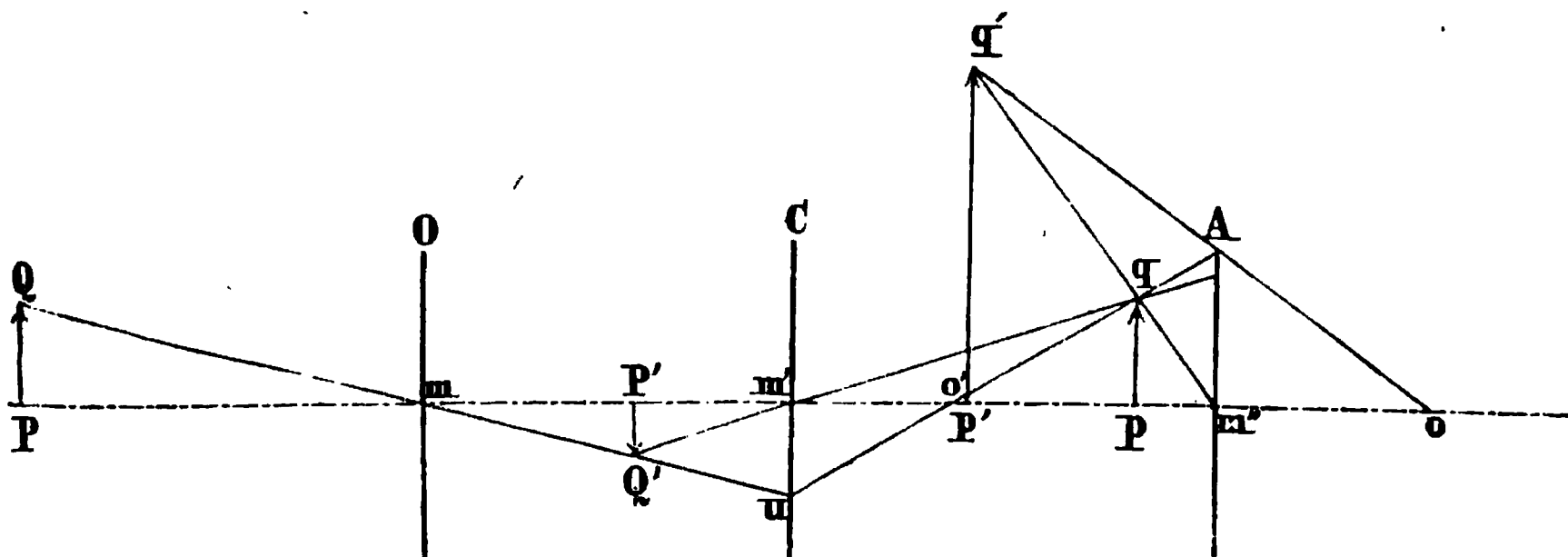
$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{\eta}{f_1 (v_1 + 1)} = \frac{\omega_1}{v_1 + 1} \quad (52)$$

wobei  $\eta = \omega_1 f_1$  ist. Man entnimmt hieraus, dass beide Arten von Gesichtsfeldern des Fernrohrs nahezu mit der Vergrößerung desselben abnehmen und folglich auch ein grosses Gesichtsfeld nur auf Kosten der Vergrößerung erlangt werden kann. Aus diesem Grunde und da es bei Land- und Erdmessungen meist nur auf die deutliche Uebersicht einzelner Punkte, kurzer Linien oder kleiner Flächen ankommt, verzichtet man bei den Fernrohren für geodätische Instrumente auf ein grosses Gesichtsfeld.

Da  $\operatorname{tg} \varphi$  und  $\operatorname{tg} \varphi'$  nur kleine Werthe haben, indem  $\eta$  höchstens  $= \frac{1}{3} f_1$  angenommen wird, so kann man, um sofort die das Gesichtsfeld bestimmenden Winkel  $\varphi$  und  $\varphi'$  in Minuten auszudrücken, statt der Tangenten auch ihre Bögen und daher allgemein  $\varphi = 3438 \operatorname{tg} \varphi$  und  $\varphi' = 3438 \operatorname{tg} \varphi'$  Minuten setzen. Für  $\eta = \frac{1}{3} f_1$ , also  $\omega_1 = \frac{1}{3}$ , gibt der letztere Ausdruck das Gesichtsfeld von grösster ungleicher Helligkeit für  $v_1 = 10, 20, 30$  beziehungsweise  $2 \varphi' = 208, 109, 74$  Minuten.

§. 65. Gesichtsfeld und Vergrößerung bei drei Linsen. In Fig. 59 mögen die Linien O, C, A beziehlich die Objectiv-, Collectiv- und Ocular-

Fig. 59.



linse mit den Brennweiten  $f, f_0, f_1$ , den Bildweiten  $a_1, a_0, a_{11}$  und den Abständen  $m m' = c, m' m'' = c_1$  vorstellen. Nehmen wir zunächst an, dass jede Linse ein Bild erzeuge: das Objectiv vom Gegenstande  $PQ$  in  $P'Q'$ , das Collectiv von  $P'Q'$  in  $p'q$ , und die Ocularlinse von  $p'q$  in  $p'q'$ ; und setzen wir die Entfernung des Gegenstands  $PQ$  von dem Objectiv  $= a$ , so gelten folgende drei Gleichungen, deren Richtigkeit aus §. 49 hervorgeht:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}; \quad \frac{1}{f_0} = \frac{1}{c-a_1} + \frac{1}{a_0}; \quad \frac{1}{f_1} = \frac{1}{c_1-a_0} + \frac{1}{a_{11}}. \quad (53)$$

# 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

ner die von der optischen Axe aus gerechneten grössten  $Q'$ ,  $p\ q$ ,  $p'\ q'$ , welche durch das Ocular noch übersehen ziehlich  $h$ ,  $h_1$ ,  $h_0$ ,  $h_{11}$ , so finden folgende drei weitere

$$\frac{h}{h_1}; \frac{c - a_1}{a_0} = \frac{h_1}{h_0}; \frac{c_1 - a_0}{a_{11}} = \frac{h_0}{h_{11}}. \quad (54)$$

letzteren folgt:

$$h_{11} = \frac{a_1 a_0 a_{11} h}{a (c - a_1) (c_1 - a_0)}. \quad (55)$$

as Auge in dem Punkte  $o$  hinter der Linse  $A$  und ist die scheinbare Grösse des letzten Bilds gleich  $p' q'$ :  $l_1$ ), während die des Gegenstands, vom Objectiv aus  $1 : a$  ist. Dividirt man daher die letzte Gleichung erst erauf mit  $h : a$ , so gibt der Quotient die Vergrösserung rei Linsen:

$$1 = \frac{a_1 a_0 a_{11}}{(c - a_1) (c_1 - a_0) (a_{11} + d_1)}. \quad (56)$$

. hält man das Auge ganz nahe an die Ocularlinse  $A$ , ass  $a_{11} : (a_{11} + d_1) = 1$ . Dasselbe kann man aber auch llen annehmen, da  $d_1$  gegen  $a_{11}$  stets nur gering ist; ug:

$$v_{11} = \frac{a_1 a_0}{(c - a_1) (c_1 - a_0)}. \quad (57)$$

ass in den beiden Ausdrücken für  $v_{11}$ , die Grösse  $c_1 - a_0$  und sehr nahe  $a_1 = f$  ist, so wird nach Gleichung (56)

$$1 = \frac{c_1 - f_1}{c - f} \cdot v_1 = \frac{c_1 - f_1}{c - f} \cdot \frac{f}{f_1}. \quad (58)$$

Mitte des Objectivs gehenden und auf den Rand der iden Strahlen schneiden sich nach der Brechung durch n Punkte  $o'$ , welcher von der Linse  $C$  um die Länge Von  $o'$  aus gehen diese Strahlen auf die dritte Linse  $A$  nach ihrem Durchgange in dem Punkte  $o$ , welcher von  $o = d_1$  hat. Die Abstände  $b$  und  $d_1$  ergeben sich aus den Gleichungen:

$$\frac{1}{c} + \frac{1}{b} \text{ und } \frac{1}{f_1} = \frac{1}{c_1 - b} + \frac{1}{d_1}. \quad (59)$$

1 Gleichung folgt, wenn  $b$  aus der ersten bestimmt ist,

$$\frac{1}{d_1} = \frac{c_1 - b - f_1}{(c_1 - b) f_1} \quad (60)$$

k gibt die Entfernung des Augenpunkts für ein astro- mit Collectivlinse. Hier darf man die Grösse  $f_1$  gegen llässigen, weil  $c_1$  und  $b$  selbst nur kleine Grössen sind. axis nimmt man gewöhnlich den Abstand der beiden



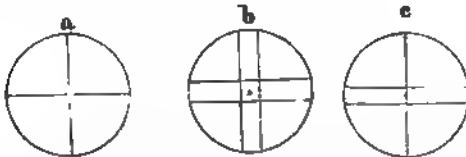




### Das Fadenkreuz.

Zielen nach einer bestimmten Richtung möglich wie in dem Kegelraume des Gesichtsfelds unendlich viele und folglich bei Betrachtung eines Punkts eben so viele möglich. Die Vorrichtung, welche eine solche Vorrichtung, welche einen bestimmten Punkt des Gesichtsfelds Fadenkreuz, weil sie dem Wesen nach aus zwei Fäden besteht. Der Schnitt dieser Kreuzfäden gibt den bestimmten Punkt des Gesichtsfelds und seine Verbindung mit dem Mittelpunkt des Objectivs die Abschluslinie an. Wenn die Vorrichtung mehr als eine solche Linie haben, so müssen die Anzahl Fäden eben so viele Kreuzungspunkte hergeben. Die gebräuchlichsten Formen sind in Fig. 60 abgebildet und es ist hierzu nur zu bemerken

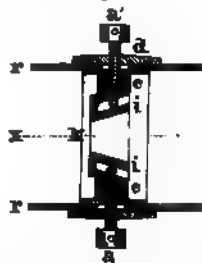
Fig. 60.



die gezeichnete Anordnung der Fäden in den Fällen angegeben. Es handelt sich nicht um einen einzigen Punkt, sondern um die Mitte des Gesichtsfelds zu betrachten.

Die Linien des Fadenkreuzes sind entweder sehr feine Platindrähte, die man sich dadurch vorstellen kann, dass man einen dünnen Platindrabt einen Cylinder von Silber auszieht, der selbst zu einem sehr feinen Drahte auszieht, oder man zieht ihn in Salpetersäure auf, so bleibt der gesuchte Faden auf die flache Seite eines Metalls, welches mit der Ocularröhre so verbunden ist, dass er sowohl der Axe des Fernrohrs als senkrecht darauf bewegt werden kann. Die Bewegung nach der Axe des Fernrohrs ist nöthig, damit das Fadenkreuz an die Stelle vor dem Ocular gebracht werden kann, in welcher es hinter demselben deutlich gesehen wird; und die Seitenbewegung dient dazu, den Durchschnittspunkt der Fäden an die rechte Stelle des Gesichtsfelds zu bringen.

Fig. 61.



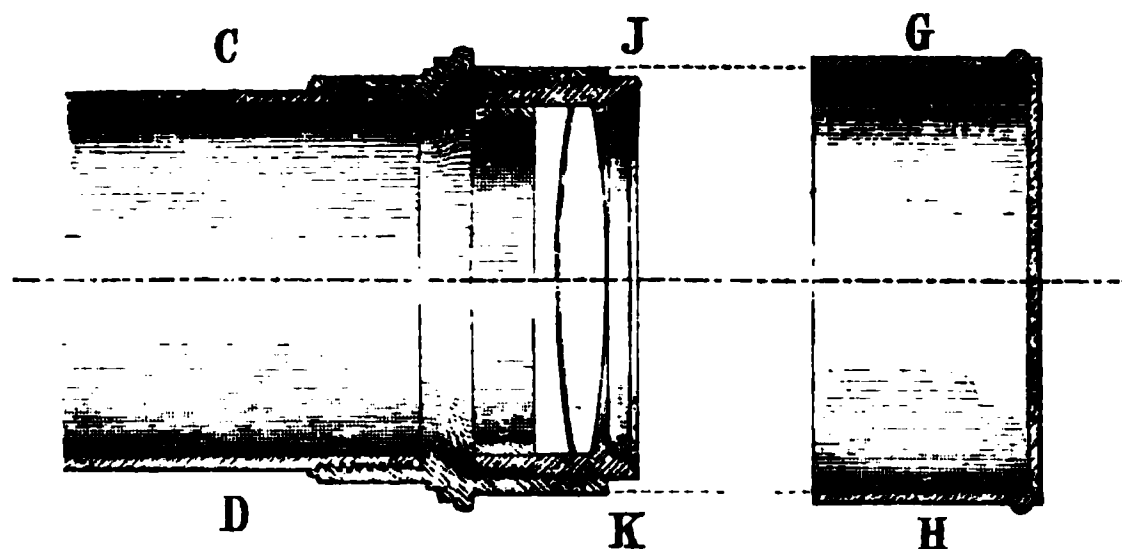
Die Figuren 61 und 62 zeigen die einfachste Einrichtung des Fadenkreuzes: die erste ist ein Schnitt dieser Vorrichtung

axe, und die zweite ein senkrechter Querschnitt der Ocularröhre hinter dem Fadenkreuze. In beiden Figuren bedeutet  $r, r$  den Schnitt der Ocularröhre und  $i, i$  den Ring, auf dessen ebene gegen  $x$  gerichtete Fläche das Fadenkreuz  $k$  aufgeklebt ist. Die vier Stellschraubchen  $a, a', b, b'$ , welche in einem zweiten in der Röhre verschiebbaren Ringe  $e, e$  ihre Muttern haben, halten den Ring  $i, i$  durch ihre Fusspunkte fest, sowie sie auch zu dessen Verschiebung gegen die Axe nach den Richtungen  $a a', a' a$  und  $b b', b' b$  dienen, wobei man stets nur die eine Schraube rück- und die andere vorwärts zu drehen braucht. Die Verstellung des Fadenkreuzes längs der Fernrohraxe geschieht, indem man nach Lüftung des Schraubchens  $c$ , welches den Ring  $d$  mit der Ocularröhre verbindet, diesen Ring und was mit ihm durch die Stellschraubchen verbunden ist, durch einen sanften Druck mit den Fingern längs dem (in der Zeichnung weiss gelassenen) Schlitz vor- oder rückwärts bewegt, und hierauf das Schraubchen  $c$  wieder anzieht.

Andere Einrichtungen des Fadenkreuzes werden mit den Instrumenten, an denen sie vorkommen, beschrieben werden.

§. 67. **Das ganze Fernrohr.** Nach den vorausgegangenen Betrachtungen über die Einrichtung und Wirkungsweise der einzelnen Theile eines Fernrohrs kann die Beschreibung der Gesamteinrichtung sehr kurz gegeben werden. Wir legen derselben das Fernrohr zu Grunde, welches bei den kleinen Ertel'schen Nivellirinstrumenten Anwendung findet und theilen nachfolgend zwei Schnitte desselben in natürlicher Grösse mit.

Fig. 63.



Der erste Schnitt stellt einen Theil der Objectivröhre ( $C D$ ) mit dem achromatischen Objectiv, dessen Fassung ( $J K$ ) und der Kapsel ( $G H$ ), welche nach dem Gebrauche des Fernrohrs das Objectiv deckt, vor. Das Objectiv hat 10 Pariser Linien Oeffnung und eben so viel Zoll Brennweite. Die Objectivröhre ist ein messingener Cylinder, der an zwei 5 Zoll von einander entfernten Stellen von genau abgedrehten kupfernen Ringen umgeben ist. Diese Ringe haben ganz gleiche Durchmesser und ihre Mittelpunkte bestimmen die mechanische Axe des Fernrohrs, welches mit den Oberflächen dieser Ringe in einem cylindrischen oder  $y$  förmigen Lager ruht.

Der zweite Schnitt stellt die Ocularröhre ( $A B$ ) mit ihrem Inhalte und

ihrer Verbindung mit der Objectivröhre in dieser mit Hilfe des gezahnten von der Seite aus gedreht werden k das Fadenkreuz k in die Bildebene Fadenkreuz durch das planconvexe Ocular o' deutlich gesehen, so ist dasselbe auch mit dem in seiner Ebene befindlichen Bilde der Fall. Die Brennweite des Oculars beträgt 0",32 und die der Collectivlinse c, welche in der Brennweite des Objectivs steht und vom Ocular 0",64 entfernt ist, 0",92. Diese auf einander folgenden Abmessungen verhalten sich folglich sehr nahe wie 1 : 2 : 3. Erfahrungsgemäss vergrößert damit stimmt die zwanzigmalige Verbindung mit (53) liefert, nahe ge

Durch die Blenden b, b, wovon befinden, werden die Randstrahlen von bei dient auch der Ring i des Fadens störender Spiegelungen sind die innere röhre schwarz angestrichen.

§. 68. Oculare. Abgesehen von Messfernrohre in der Regel nur durch hier eine Zusammenstellung der gebi

1. Das Huyghens'sche Ocular zeichnet. Die beiden planconvexen Lin dem Auge zu. Nennt man  $f_1$  die Brennweite  $f_0$  des Collectivglases = Gläser von einander  $= 2 f_1$ , so dass

$$f_1 : c : f_0 :$$

Das Fadenkreuz k steht fast in viel näher am Augenglase o, als das dert) und die Verkürzung des Licht des Objectivs stets um  $\frac{2}{3} f_1$  von der ( durch diese erzeugte Bild in die Mitte | aus der dioptrischen Hauptformel  $f_{\text{lin}}$  und  $a_1 = f_1$  setzt. Hieraus folgt auch Verhältniss von  $\frac{1}{3} f_1 : f_1$  oder von 3 : ohne Collectiv entstanden wäre: die Licht in demselben Verhältniss verring

2. Das Ramsden'sche Ocular planconvexen Linsen wenden sich geg

Bauernfeld, Vermessungskunde. I. 5. Au

Mit der Brennweite  $f_1$  des Augenglases  $o'$  gemessen, beträgt der Abstand  $c$  beider Linsen  $\frac{1}{3} f_1$  und die Brennweite des Collectivs  $\frac{1}{3} f_1$ ; es verhält sich folglich hier

$$f_1 : c : f_0 = 5 : 4 : 9.$$

Das Fadenkreuz  $k$  steht fast genau um  $\frac{1}{3} f_1$  von der Linse  $c$  ab (nur so viel weniger, als das deutliche Sehen durch die Linse  $o'$  fordert) und

Fig. 65

die Verkürzung des Lichtkegels beträgt hier nur  $\frac{1}{10} f_1$ , da die Bildebene des Objectivs nur um  $\frac{2}{5} f_1$  vom Collectiv absteigen darf, wenn das zweite Bild um  $\frac{1}{3} f_1$  vor diesem Glase entstehen soll, wie die dioptrische Hauptformel sofort nachweist, wenn man darin  $f = f_0 = \frac{2}{3} f_1$  und  $a_1 = -\frac{1}{3} f_1$  setzt. Daraus folgt auch, dass das eben genannte Bild in dem Verhältniss von 10:9 grösser ist als das, welches

ohne Collectiv entstanden wäre: die Vergrösserung des Fernrohrs beträgt folglich  $\frac{10}{9}$ , die Helligkeit aber nur  $\frac{81}{100}$  von der, welche das Objectiv allein zu Stande gebracht hätte. (Das Augenglas  $o'$  hat noch einen besonderen Deckel  $e$ , an dem sich hier ein Sonnenglas  $d$  befindet, das selbstverständlich auch am Huyghens'schen Ocular angebracht werden kann.)

3. Das orthoskopische Ocular wurde von dem Optiker Carl Kellner zu Weizlar erfunden und im Jahre 1849 in einer besonderen Abhandlung<sup>1</sup>

Fig. 66.

bezüglich seiner Leistungen, aber nicht in Hinsicht auf seine genaue Construction beschrieben. Dasselbe ist in Fig. 66 abgebildet. Demnach besteht das Kellner'sche Ocular aus drei Linsen, einem biconvexen Collectiv  $C$ , dessen flachere Krümmung dem Objectiv zugewendet ist, und einem achromatischen Augenglase  $o$ , dessen Construction den Fraunhofer'schen achromatischen Linsen ähnlich ist.

Diese drei Linsen des Oculars haben jedoch, nach der Angabe seines Erfinders, nur vier spiegelnde Flächen; es müssen sich also die beiden Linsen des Glases  $o$  genau berühren. Bezüglich der Stellung des Faden-

<sup>1</sup> Das orthoskopische Ocular, eine neu erfundene achromatische Linsencombination von C. Kellner, Braunschweig 1849.

kreuzes  $k$  gegen die beiden Linsen, erinnert dieses Ocular an das von Ramsden, unterscheidet sich aber, von der Linsenform abgesehen, durch die Entfernungen der Linsen vom Fadenkreuze und durch die Blende ( $b, b$ ) zwischen den Gläsern  $C$  und  $o$ . Seinen Beinamen „orthoskopisch“ (von  $\acute{o}\rho\theta\acute{o}\varsigma$  gerade und  $\sigma\kappa\omicron\pi\acute{\epsilon}\omega$  beobachte) führt dieses Ocular von seinem Hauptvorteile, dass es von einem ebenen Gegenstande auch ein ebenes, und von jedem Gegenstande ein gerades ungekrümmtes, perspectivisch richtiges, seiner ganzen Ausdehnung nach scharfes Bild liefert. Die sämtlichen Vorzüge des in der That ausgezeichneten Kellner'schen Oculars sind auf S. 18 bis 20 der oben genannten Abhandlung angeführt, worauf wir diejenigen Leser, welche Genaueres darüber wissen wollen, verweisen müssen.

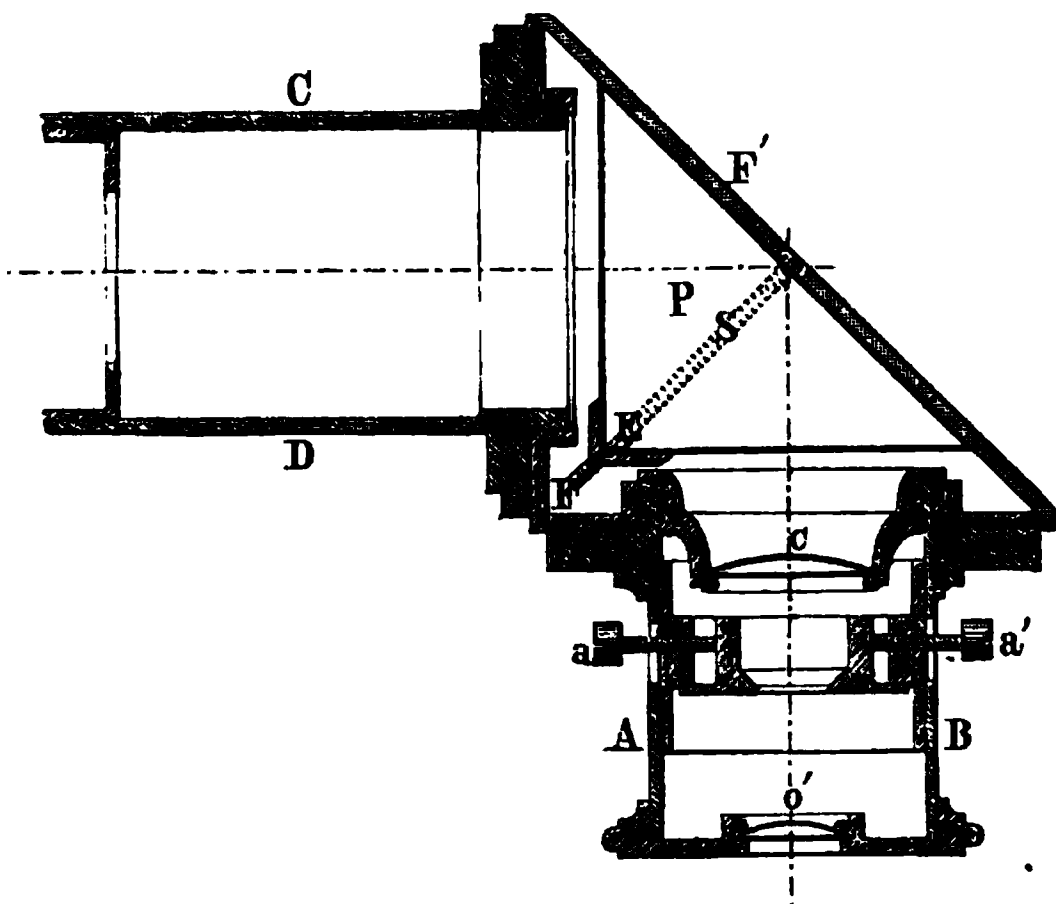
4. Das prismatische Ocular (Fig. 67) hat seinen Namen von dem gleichschenkelig-rechtwinkligen Glasprisma  $P$ , welches die längs der Fernrohraxe kommenden Lichtstrahlen um einen rechten Winkel in die Axe  $o'c$  des Oculars ablenkt, und es wird dann angewendet, wenn es die Bequemlichkeit der Beobachtung erhöht, z. B. bei Bestimmung der scheinbaren Höhen hochstehender Sterne, bei der mit dem Reflexionskreise auszuführenden Messung von sehr stumpfen Winkeln u. s. w.

Das Ocular selbst kann eines der drei eben beschriebenen Doppeloculars sein; in der Zeichnung ist ein Huyghens'sches angenommen. Das Prisma

ruht in einem messingnen Stuhle  $F$  und ist rings von Deckplatten  $F', S, S$  umgeben, die es gegen Beschädigung schützen und jedes störende Seitenlicht abhalten. Bei  $F$  ist das prismatische Ocular an die Ocularröhre  $CD$  des Fernrohrs angeschraubt. Diese Röhre ist nicht dieselbe, welche eines der drei Doppeloculars aufnimmt, sondern eine eigene, was mit der Grösse dieser Oculars zusammenhängt. Auch ohne diesen Umstand wäre es nöthig, dass der Collimationsfehler des Fernrohrs für jedes Ocular besonders bestimmt werden muss.

§. 69. **Parallaxe des Fadenkreuzes.** Es ist bereits bemerkt worden, dass man das Fadenkreuz und das vom Objectiv erzeugte Bild nur dann gleichzeitig deutlich sieht, wenn beide in einer Ebene liegen und diese den rechten Abstand vom Ocular hat. Dieser Abstand ergibt sich aber, wenn man das Fernrohr gegen die freie Luft oder eine weit entfernte weisse

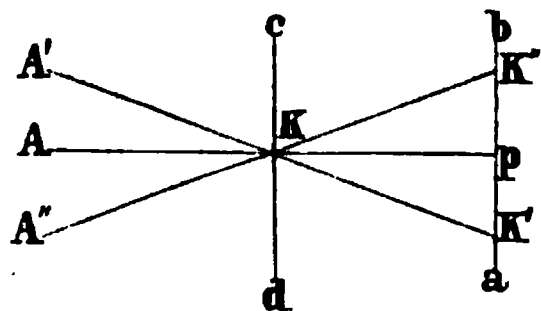
Fig. 67.



Wand richtet und das Fadenkreuz so lange verschiebt, bis seine Fäden als reine schwarze Linien erscheinen. Hat somit das Fadenkreuz die rechte Entfernung, so ist es bei jeder Beobachtung mit dem Fernrohr nöthig, durch Verstellen der Ocularröhre die Bildfläche in die Ebene des Fadenkreuzes zu bringen. Das Zusammenfallen beider Ebenen erkennt man aber an der scheinbaren Deutlichkeit des abgebildeten Gegenstands noch nicht zuverlässig genug, weil das Auge in der Schätzung der Deutlichkeit Schwankungen unterworfen ist: man kann Fadenkreuz und Bild zugleich deutlich zu sehen glauben, während dieses doch etwas vor oder hinter jenem liegt. Das einzige sichere Merkmal von der Deckung der Kreuz- und Bildfläche ist, dass der Schnittpunkt des Fadenkreuzes stets einen und denselben Punkt des Bilds deckt, wie man auch das Auge vor dem Ocular bewegen mag. Liegen dagegen Bild und Fadenkreuz in verschiedenen Ebenen, so deckt der Kreuzpunkt bei jeder veränderten Stellung des Auges einen anderen Punkt des Bilds und folglich auch des Gegenstands. Hieraus entspringt aber eine Ungenauigkeit in der Einstellung des Fernrohrs auf einen bestimmten Punkt, oder in der Ablesung durch dasselbe auf einer eingetheilten Latte, mit anderen Worten: ein Messungsfehler.

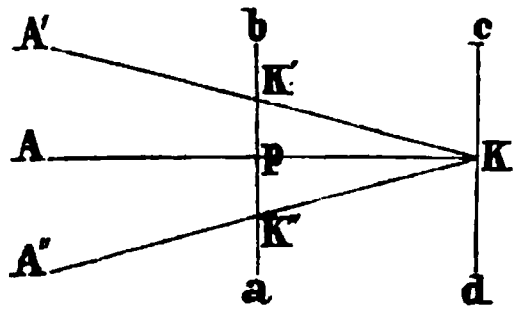
Man nennt die Abweichung der Bildfläche von der Ebene des Fadenkreuzes dessen Parallaxe und kann dieselbe leicht durch Verstellen der Ocularröhre beseitigen. Ob diese Röhre vor- oder rückwärts zu stellen ist, ergibt sich aus folgender Betrachtung.

Fig. 68.



Steht das Fadenkreuz (c d) wie in Fig. 68 vor der Bildebene (a b) und ist A die Stellung des Auges, in welcher der Kreuzungspunkt k den Bildpunkt p deckt, so wird derselbe Kreuzpunkt in der Stellung A' des Auges den Punkt k' und wenn das Auge sich in A'' befindet, den Punkt k'' decken. Da man die Projectionen k' und k'' des Fadenkreuzes auf die Bildebene a b in der Einbildung als feststehende Punkte ansieht, so scheint sich der Bildpunkt p in dem ersten Falle von dem Punkte k' weg in der Richtung k' p, und in dem zweiten Falle von dem Punkte k'' weg in der Richtung k'' p bewegt zu haben. Diese scheinbaren Bewegungen gehen demnach in denselben

Fig. 69.



Richtungen vor sich, in denen sich das Auge bewegt, und man bezeichnet dieses durch den Ausdruck: „das Bild geht mit dem Auge.“

Steht dagegen das Fadenkreuz (c d) wie in Fig. 69 hinter der Bildebene (a b) und deckt für eine beliebige Stellung A des Auges der Kreuzpunkt k den Bildpunkt p, so wird für eine zweite Stellung A' des Auges der Kreuzpunkt k den Bildpunkt k', und für eine dritte Stellung A'' derselbe Punkt k den Bildpunkt k'' decken. Aus der vorhin angegebenen Ursache scheint sich während der Bewegung des Auges



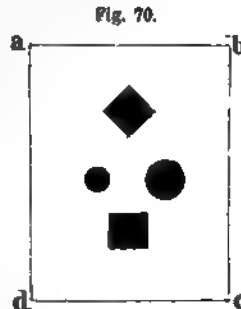
p, und während der Bewegung des Auges von A nach A" derselbe Punkt p von k" nach p bewegt zu haben. Da diese Richtungen denen der Augenbewegungen entgegengesetzt sind, so sagt man: „das Bild bewegt sich gegen das Auge.“

Fasst man die eben gewonnenen Ergebnisse zusammen, so ergibt sich für das Wegschaffen der Parallaxe des Fadenkreuzes folgende Regel: Je nachdem sich das Bild mit dem Auge oder gegen dasselbe bewegt, ist das Fadenkreuz dem Objectiv zu nähern oder von ihm zu entfernen.

§. 70. Prüfung des Fernrohrs. Die Forderungen, welche man an ein gutes Messfernrohr stellt, sind folgende: Aehnlichkeit und Deutlichkeit der Bilder, hinreichende Vergrößerung, scharfe Centrirung des Objectivs und richtige Lage des Fadenkreuzes.

1) Will man ein Fernrohr auf seine Deutlichkeit prüfen, so verfährt man nach Fraunhofer am besten in folgender Weise.

Man zeichne auf eine weisse Tafel (Fig. 70) einige regelmässige schwarze Figuren, etwa Quadrate und Kreise von 15<sup>mm</sup> bis 45<sup>mm</sup> Durchmesser und stelle diese Tafel in einer Entfernung von 50 bis 100 Meter vor dem zu prüfenden Fernrohre so auf, dass sie gut beleuchtet ist. Zeigt das Fernrohr bei richtiger Stellung des Oculars (d. h. nach Entfernung der Parallaxe) diese Figuren nicht durchgängig gleich schwarz, sondern an den Rändern grau; oder verändert es ihre regelmässige Gestalt durch Verlängerung der einen oder anderen Richtung; oder erscheinen die Grenzen der Figuren mit einem farbigen Saume von roth, gelb und grün: so ist das Fernrohr mit Mängeln behaftet, die es nicht haben soll. Erscheinen dagegen die Figuren durchgehends gleich schwarz und unverzerrt, und ist an deren Rändern nur ein schwacher bläulicher Saum bemerkbar, so lässt das Fernrohr in Beziehung auf Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig. Eine blaue Färbung am Rande zeigen sogar die besten Fernrohre von Fraunhofer, weil bei Berechnung ihrer Objective die dunkelblauen und violetten Strahlen gar nicht berücksichtigt wurden, um die übrigen desto besser zu vereinigen.

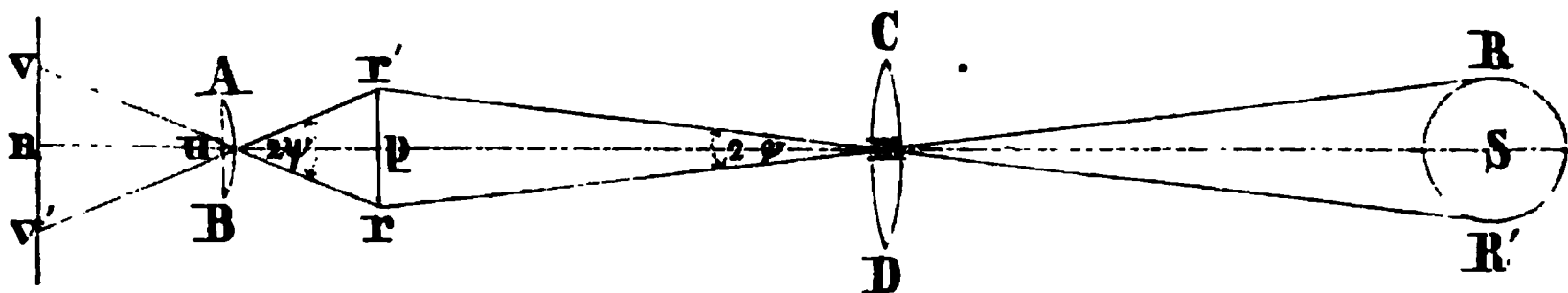


2) Was die Vergrößerung des Fernrohrs betrifft, so ist bereits im §. 57 angeführt worden, wie man dieselbe durch Versuch bestimmen kann, wenn die Brennweiten des Objectivs, des Oculars und der Collectivlinse nicht bekannt sind. Ein von jenem verschiedenes Verfahren, die Vergrößerung zu finden, ist das, welches Valz vorgeschlagen hat. Es besteht im Allgemeinen darin, dass man den Schwinkel der Sonne mit demjenigen Winkel vergleicht, unter welchem die von dem Sonnenrande kommenden Strahlen aus dem Ocular des Fernrohrs treten.

Stellt in Fig. 71 (S. 102) die Scheibe S die Sonne, AB das Ocular und CD das Objectiv eines auf sie gerichteten Fernrohrs vor, so werden

die Randstrahlen  $Rm$ ,  $R'm$  der Sonne die Wege  $Rmr$  und  $v$ ,  $R'mr'$  und  $v'$  machen, wenn  $rr'$  die Brennebene des Objectivs ist. Auf einer ebenen Fläche  $vv'$ , welche in geringer aber genau bekannter Entfernung  $nu = e$

Fig. 71.



vom Ocular senkrecht zur Fernrohraxe steht, wird der Durchmesser  $vv' = d$  des Sonnenbilds gemessen. Aus  $d$  und  $e$  findet man  $\operatorname{tg} \psi$ , während  $\operatorname{tg} \varphi$  im Mittel  $= \operatorname{tg} 32' 10''$  ist. Das Verhältniss von  $\operatorname{tg} \psi$  zu  $\operatorname{tg} \varphi$  gibt die gesuchte Vergrößerung

$$v = \frac{1}{2 \operatorname{tg} \varphi} \cdot \frac{d}{e} = \frac{1}{2} \cot \varphi \cdot \frac{d}{e} \quad (72)$$

wobei zu bemerken ist, dass der Werth von  $\frac{1}{2} \cot \varphi$  zwischen 52,5 und 54,5 schwankt und im Januar am kleinsten, im Juli am grössten ist; das Mittel von  $\frac{1}{2} \cot \varphi = 53,5$  gilt für April und October.

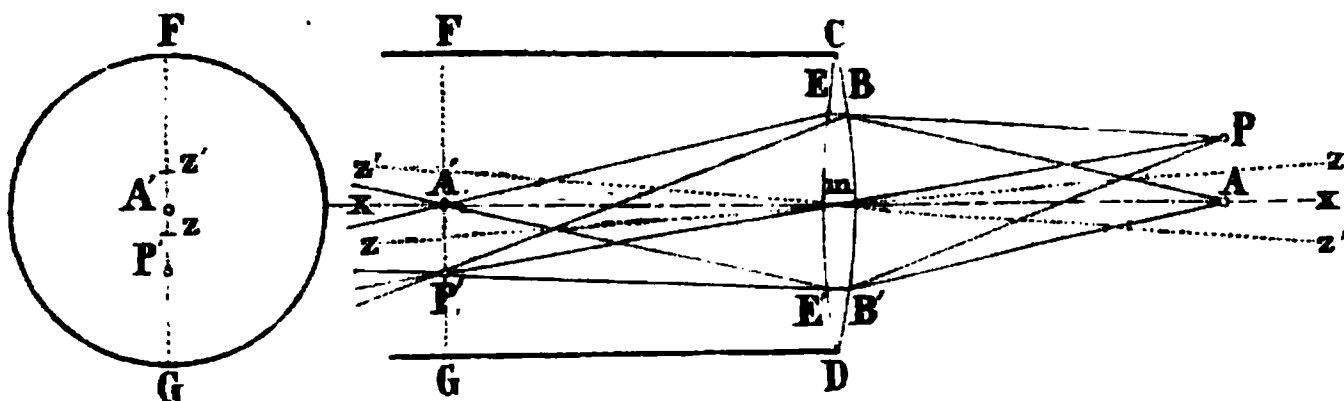
Will man die Brennweite  $f$  des Objectivs durch Versuch bestimmen, so stelle man das Fernrohr auf einen sehr weit entfernten Gegenstand so ein, dass Fadenkreuz und Bild deutlich erscheinen und keine Parallaxe stattfindet, messe die Abstände des Objectivs und des Augenglases von der Fadenkreuzebene, welche beziehlich  $d$  und  $f_1$  heissen sollen, so ist bei einem Ocular von Huyghens  $f = d + \frac{1}{2} f_1$  und bei einem Ocular von Ramsden  $f = d - \frac{1}{5} f_1$ , woraus sich die beziehlichen Vergrößerungen von  $\frac{3}{8} \frac{f}{f_1}$  und  $\frac{10}{9} \frac{f}{f_1}$  sofort ergeben.

3) Die vollkommene Centrirung des Objectivs, worunter das Zusammenfallen der Axe oder mindestens des optischen Mittelpunkts dieser Linse mit der mechanischen Axe der Objectivröhre zu verstehen ist, muss schon deshalb gefordert werden, weil sich ausserdem die Lage der Visirlinie bei der Drehung des Fernrohrs um seine mechanische Axe jeden Augenblick ändern würde, wodurch oft beträchtliche Messungsfehler entstehen könnten.

Ob eine Objectivlinse vollkommen centriert ist, erkennt man daran, dass sich das durch sie erzeugte Bild eines entfernten Punkts nicht bewegt, wenn man das Fernrohr in einem festen Lager vorsichtig um seine mechanische Axe dreht. Denn stellt in Fig. 72 die Linie  $xx$  die mechanische Axe,  $m$  den in ihr liegenden optischen Mittelpunkt des Objectivs ( $CD$ ) und  $P$  einen leuchtenden Punkt vor, so liegt dessen Bild in dem Hauptstrahle  $Pm$  und in der Entfernung  $A'm = a_1$ , welche sich nach Gleichung (22) bestimmen lässt. Denkt man sich das Fernrohr um seine mechanische Axe  $xx$  um einen beliebigen Winkel gedreht, so bleibt doch der Punkt  $m$

stets an seiner Stelle; und da das Bild des unbeweglichen Punkts  $P$  stets in dem Hauptstrahle  $Pm$  und in der Entfernung  $A'm = a_1$  von der Linse liegen muss: so ist klar, dass in dem hier angenommenen Falle, wo  $m$  in  $xx$  liegt, das Bild  $P'$  die Drehung des Fernrohrs nicht theilt.

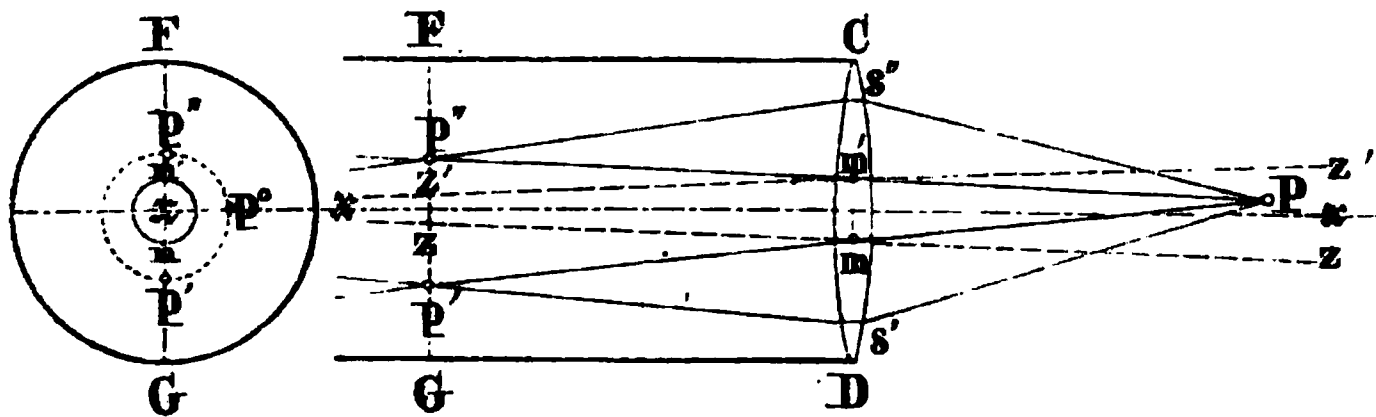
Fig. 72.



Man entnimmt aus der vorstehenden Figur leicht, dass es nicht durchaus nöthig ist, dass die optische Axe des Objectivs mit der mechanischen Axe seiner Röhre zusammenfalle; denn wenn auch  $zz$  die Axe der Linse wäre und diese nach einer Drehung um  $180^\circ$  in die Lage  $z'z'$  käme, so gäbe es doch nur eine einzige Absehnlinie und ein unveränderliches Bild von  $P$ , so bald sich, wie hier vorausgesetzt wird, der optische Mittelpunkt und der Schnittpunkt des Fadenkreuzes in der Axe  $xx$  befinden. Wenn nun auch eine Abweichung beider Axen, vorausgesetzt, dass sie sich im optischen Mittelpunkte des Objectivs schneiden, der Lage der Absehnlinie nicht schadet, so darf diese Abweichung aus anderen Gründen doch nur äusserst gering sein.

Ein nicht vollkommen centrirtes Objectiv gibt sich dadurch zu erkennen, dass das von ihm erzeugte Bild eines leuchtenden Punkts rotirt, wenn man das Fernrohr um seine mechanische Axe dreht. Denn ist in Fig. 73 wieder

Fig. 73.



$xx$  die mechanische Axe und  $P$  ein leuchtender Punkt, liegt aber der optische Mittelpunkt  $m$  ausserhalb der Linie  $xx$ , so wird dieser Mittelpunkt bei der Drehung des Fernrohrs einen Kreis von dem Durchmesser  $mm'$  um die Axe  $xx$  und der von  $P$  ausgehende Hauptstrahl  $Pm$  einen Kegel beschreiben, dessen Spitze  $P$  und dessen Leitlinie der Kreis  $mm'$  ist. In dieser Kegelfläche muss somit das Bild von  $P$  sich bewegen und zwar in der elliptischen Schnittlinie  $P'P''$ , welche die Ebene  $FG$  erzeugt, deren Abstand  $a_1$  von der Linse sich leicht berechnen lässt.

nicht richtig centrirt, so kann diesen Fehler nur der Beobachter (insofern er nicht selbst optischer ist), da hierfür am Fernrohre keine Vorrichtungen an-

ge des Fadenkreuzes erfordert erstens, dass es le, und zweitens, dass sein Schnittpunkt in der mecha- Die erste Forderung, von deren Erfüllung bereits auf ist von selbst klar, und die zweite, welche hier be- gemacht werden, damit bei der Drehung des Rohrs wehlinien entstehen, was der Fall wäre, wenn sich erhalb der mechanischen Axe des Fernrohres befände.

ein gut centrirtes Objectiv voraus. In diesem Falle wa 50<sup>m</sup> entfernten scharfbegrenzten und gut beleuch- an anvisirt, stets an derselben Stelle der mit dem Ebene liegenden Bildfläche verbleiben, wenn man das m seine mechanische Axe dreht. Dagegen wird der s Fadenkreuzes, wenn er nicht in dieser Axe liegt, is beschreiben; befindet er sich aber in der Fernrohr- n äusseren Punkt gerichtet, so wird er diesen bei der irtwährend decken.

er Kreuzungspunkt befinde sich in  $k$  (Fig. 74) und imten Bildpunkt, so beschreibt derselbe, wenn das Rohr um seine Axe  $x$  gedreht wird, den Kreis  $k'k'k$ , während der Bildpunkt in  $k$  bleibt. Nach einer halben Drehung des Rohrs hat das Fadenkreuz  $a'b, c'd$  die Lage  $a'b', c'd'$  angenommen und es steht dessen Schnittpunkt  $k'$  von dem Bildpunkte  $k$  um den Durchmesser ( $kk'$ ) des von ihm beschriebenen Kreises ab. Dieser Durchmesser ist dem doppelten Abstände ( $kx$ ) des Fadenkreuzpunkts von der Axe des Fernrohres gleich: die Verbesserung hat sich somit nur auf die Hälfte des durch  $kk'$  angezeigten Fehlers zu erstrecken.

Da der Ring (Fig. 75), welcher das Fadenkreuz trägt, nicht in der Richtung  $k'k$ , sondern nur in den Richtungen der Kreuzfäden bewegt werden kann, so muss der Faden  $a'b'$  um das Stück  $nx$  und der Faden  $c'd'$  um das Stück  $mx$  gegen die Axe bewegt werden: jenes geschieht durch Zurückdrehen des Schraubchens  $u'$  und Vorwärtsdrehen des Schraubchens  $u$ , dieses aber durch Lüftung des Nachdrehen des Schraubchens  $v$ . Glaubt man den zu haben, so wiederholt man den ersten Versuch und richtung. Es versteht sich wohl von selbst, dass es

## Genauigkeit des Zielens. — Practische Bemerkungen.

nur der Berichtigung eines Fadens bedarf, wenn der andere schon die Axe (x) des Fernrohrs geht.

§. 71. Genauigkeit des Zielens. Die mit Fadenkreuz versehenen Fernrohre gewähren die zuverlässigsten Visirlinien. Ueber die Genauigkeit derselben hat Professor Stampfer Versuche angestellt, welche im 18. Bande der Jahrbücher des Wiener polytechnischen Instituts beschrieben sind. Von diesen Versuchen haben wir bereits in §. 27, welcher die Genauigkeit der Diopter handelt, Einiges mitgetheilt; hier folgen noch die Ergebnisse dieser Untersuchungen, welche sich auf die Fernrohre beziehen.

a) Die Genauigkeit des Zielens mit guten achromatischen Fernrohren ist unter günstigen äusseren Umständen nahehin der Vergrößerung proportional, wenn dieselbe nicht zu stark ist und dadurch der Helligkeit schadet. Man findet den wahrscheinlichen Zielfehler eines guten achromatisch vergrößernden Fernrohrs nahezu, wenn man den des blossen Auges oder eines Diopters, der auf 15 Secunden anzuschlagen ist, mit der Vergrößerung des Fernrohrs dividirt.

b) Fernrohre, welche keine achromatischen Objective haben, geben bei schwacher Vergrößerung dieselbe Genauigkeit der Visur wie achromatische; bei stärkerer Vergrößerung nimmt aber diese Genauigkeit ab, indem die störenden Einflüsse der Kugel- und Farbenabweichung hervortreten. Deshalb werden, wie schon oben bemerkt, fast nur achromatische Fernrohre zu Messinstrumenten verwendet.

c) Es ist für die Genauigkeit des Zielens nicht vortheilhaft, die Fernrohre der geometrischen Instrumente grössere Objective zu geben, als die nöthwendige Helligkeit erfordert. Unter übrigens gleichen Umständen gewährt das astronomische Fernrohr eine grössere Schärfe des Zielens als das terrestrische.

d) An geometrischen Instrumenten haben Fernrohre mit schwacher Vergrößerung Vorzüge vor denen mit starken Vergrößerungen, abgesehen davon, dass das Gesichtsfeld mit der Vergrößerung abnimmt, so vermindert sich auch die Helligkeit mit der Zunahme der Vergrößerung, während gleichzeitig der störende Einfluss der Luftbewegung auf die Schärfe der Bilder sich steigert. Es genügt, wenn die Vergrößerung des Fernrohrs in Zollen ausgedrückten Brennweite des Objectivs gleichkommt, höchstens doppelt so viel beträgt.

§. 72. Practische Bemerkungen. Der ausübende Geometer muss nicht selten in den Fall, an seinen Fernrohren Arbeiten vornehmen müssen, die sonst nur der Mechaniker macht. Dahin gehört das Einsetzen von Fadenkreuzen und das Reinigen der Linsengläser. Es erscheint nicht überflüssig, eine kurze Anleitung dazu hier beizufügen.

Das Einziehen von Kreuzfäden setzt einen Vorrath von Spinnenfäden voraus. Die besten liefert die kurzbeinige schwarze Spinne, welche sich fast überall findet. Setzt man dieselbe auf den einen Enden eines gabelförmigen Reissigs und lässt sie bald darauf abfallen, so

sie einen sehr feinen Faden, den man durch Umdrehen der Gabel aufhaspeln kann. Diejenigen ausgespannten Stücke, welche durch eine Lupe als die feinsten und gleichförmigsten erscheinen, entsprechen dem vorliegenden Zwecke, wenn sie sofort verwendet und vor Staubanflug geschützt werden.

Ist man im Besitze geeigneter Fäden, so nimmt man den Ring, der das Fadenkreuz trägt, vorsichtig aus der Ocularröhre, reinigt die Vorderfläche desselben, welche zur Aufnahme des Fadenkreuzes bestimmt ist, von Schmutz und stellt ihn, mit der Vorderfläche nach oben, auf eine feste Unterlage, die nicht breiter ist als er selbst. Nun klebt man an die Enden eines ausgewählten Stücks Spinnfaden zwei kleine Bleistückchen, macht den Faden etwas feucht und legt ihn so über die gereinigte Fläche des Rings, dass er in der Richtung zweier Ritzen, welche die ihm zu gebende Lage bezeichnen, durch die herabhängenden Gewichte angespannt wird.

Eben so verfährt man mit dem zweiten Faden. Hierauf untersucht man mit der Lupe, ob die Fäden genau in den Ritzen liegen, und bringt sie, wenn es nicht der Fall sein sollte, durch Verschiebung mit einer Nadel hinein. Alsdann betupft man die auf dem Ringe liegenden Stellen der Kreuzfäden mit gutem Kopalfirniss, ohne dabei die Kante der Blendenöffnung zu berühren, und schneidet endlich, wenn der Firniss trocken geworden ist, die Bleistückchen von den Fäden in passender Entfernung ab. Damit die feinen Spinnfäden beim Aufziehen gut gesehen werden können, ist es zwar nicht nöthig aber gut, dass die Unterlage des Ringes eine schwarze Oberfläche habe.

Zur Reinigung der Objective hat Fraunhofer in dem 3. Bande der astronomischen Nachrichten von Schumacher Anleitung gegeben. Es wird darin auch gezeigt, wie man ein achromatisches Objectiv behufs der Reinigung zerlegt und wieder zusammensetzt. Die richtige Zusammensetzung erfordert aber schon kunstgeübte Hände, so dass es für den, der kein practischer Optiker ist, gerathener erscheint, sich mit der Zerlegung der Objective nicht zu befassen, um die inneren Linsenflächen zu reinigen, sondern sich mit der Reinigung der beiden äusseren Flächen des Objectivs und der übrigen einfachen Linsen um so mehr zu begnügen, als diese Reinigung für die meisten Fälle ausreicht.

Aus den Figuren 63 und 64 ersieht man, dass sich sowohl das achromatische Objectiv als das einfache Ocular und die Collectivlinse mit ihren Fassungen von den betreffenden Röhren leicht abschrauben lassen, und dass man den Aussenflächen beikommen kann, ohne die Linsen aus der Fassung zu nehmen. Nach diesem Abschrauben werden die Linsenflächen zuerst mit Weingeist und einem feinen leinenen Tuch und hierauf mit einem in Kreidewasser gewaschenen und wieder getrockneten Leinenlappen geputzt. Der Kreide wegen staubt dieser Lappen etwas, aber gerade dieser Staub nimmt den Schmutz am sichersten weg. Glaubt man denselben hinreichend

einem feinen Haarpinsel vor-  
sichtig ab und setzt sie wieder in das Rohr ein. Es bedarf wohl kaum der  
Erinnerung, dass man während dieser Reinigung das Fadenkreuz so auf-  
bewahren muss, dass es vor allem Staubanflug geschützt ist.

### E. Mittel zur Messung sehr kleiner Linien und Winkel.

§. 73. Sehr genaue Messungen erfordern, dass gerade Linien und  
Kreishögen bis auf kleine Grössen sicher bestimmt werden, welche für das  
unbewaffnete Auge ganz und gar verschwinden. Solche Grössen kann man  
nicht mehr unmittelbar messen, weil sich der anzuwendende Massstab nicht  
so fein theilen lässt als hiezu nöthig wäre. Es gibt aber mehrere Vorrich-  
tungen, durch welche dergleichen fast verschwindende Grössen noch mittel-  
bar bestimmt werden können. Zu diesen Hilfsmitteln gehören die Nonien,  
die Mikrometerschrauben und die Messkeile. Auch die Röhrenlibellen könnte  
man hierher rechnen, insofern es sich um Bestimmung äusserst kleiner  
Verticalwinkel handelt. Da aber diese Verwendung der Libellen bloss als  
ein Nebenzweck derselben zu betrachten ist, so haben wir es hier nur mit  
den eben genannten drei Bestandtheilen der Messinstrumente zu thun.

### Der Nonius.

§. 74. Namen. Der Nonius ist ein an einem grösseren Massstabe  
verschiebbares kleines Massstäbchen, welches so getheilt ist, das  $n$  Theile  
desselben entweder  $n + 1$  oder  $n - 1$  Theile des grösseren Massstabs um-  
fassen. Mit diesem Massstäbchen, dessen getheilte Rand wie der des Mass-  
stabs entweder geradlinig oder kreisförmig ist, kann man sehr kleine  
Winkel messen, da Kreishögen das Mass der Winkel sind.

Der Name „Nonius“ schreibt sich von dem Portugiesen Pero Nunez  
(Petrus Nonius) her, welcher im Jahre 1492 ein Verfahren zur Messung  
kleiner Winkel angab, das später den niederländischen Schlosshauptmann  
Peter Werner veranlasste, dem Nonius die Gestalt zu geben, welche nun-  
mehr näher betrachtet werden soll. In Deutschland ist für den Nonius wohl  
auch der Name „Werner“ im Gebrauche; häufiger aber nennt man ihn  
„Vernier“, weil sich der genannte Erfinder in seiner im Jahre 1631 zu  
Brüssel erschienenen und französisch geschriebenen Abhandlung über den  
Nonius Pierre Vernier unterzeichnete.

Nach der vorausgehenden Erklärung gibt es zwei Arten von gerad-  
und krummlinigen Nonien. Bei der ersten Art, wo die Länge von  $n + 1$   
Theilen des Massstabs in  $n$  Theile getheilt wird, ist ein Noniustheil offen-  
bar grösser als ein Massstabtheil: denkt man sich nun die Theile auf dem  
gemeinschaftlichen Rande beider Massstäbe von einer und derselben Stelle  
ausgehend, so wird irgend ein Theilstrich des Nonius über den gleichvielten





Ganzen  $m$  Massstabtheile; folglich ist nach Gleichung (75) der Abstand  $b o = m a$ . Dieser Abstand ist es aber gerade, der durch den Nonius gemessen werden soll, und deshalb lässt sich für diese Messung die Regel aufstellen: Der Nonius gibt den Abstand seines Nullpunkts von dem nächst vorhergehenden Theilstriche des Massstabs an, wenn man den Theilstrich des Nonius aufsucht, der mit einem des Massstabs zusammenfällt, und die ihm zukommende Zahl mit der Angabe multiplicirt.

Stellen z. B. die Theile des Massstabs  $M$  in Fig. 76 Linien vor und sind 11 solcher Theile 12 Noniustheilen gleich, so ist die Angabe des Nonius  $a = \frac{1}{12}$  Linie. Soll die Länge des Gegenstands  $g$ , welcher mit seinen beiden Enden an den Nullpunkten des Massstabs und des Nonius steht, gemessen werden, so kann man bis  $b$  die Länge unmittelbar auf dem Massstabe  $= L = 42$  Linien ablesen und den Rest ( $b o$ ) durch den Nonius bestimmen. Trifft der mit 7 bezeichnete Theilstrich des Nonius mit einem des Massstabs zusammen, so ist die Länge des Stücks  $b o = u = \frac{7}{12}$  Linien. Fügt man diese Länge zur unmittelbar abgelesenen Grösse  $L$ , so ist für den angezeigten Stand des Nonius die Gesamtablesung vollendet und gleich  $L + u = 42'' + \frac{7}{12}'' = 42,583$  Linien.

Die Voraussetzung, dass zwei Theilstriche des Nonius und des Massstabs zusammentreffen (coincidiren), wird nicht immer erfüllt; es fragt sich dann, wie in einem solchen Falle der Abstand ( $b o$ ) des Noniusnullpunkts von dem vorhergehenden Theilstriche des Massstabs zu bestimmen ist.

In diesem Falle wird man aber immer einen Noniustheil finden, der ganz und gar von einem Massstabtheile eingeschlossen ist. Wir wollen annehmen, es sei der Theil zwischen den mit  $m$  und  $m + 1$  bezeichneten Theilstrichen, und es habe der  $m$ te Theilstrich des Nonius von dem nächst vorhergehenden des Massstabs die Entfernung  $x$ . Denkt man sich für einen Augenblick den Nonius so weit zurückgeschoben, dass der  $m$ te Theilstrich trifft, so ist die Ablesung  $m a$  offenbar um das Stück  $x$  kleiner als die Länge  $b o$  fordert; umgekehrt also ist die gesuchte Länge

$$u' = u + x = m a + x.$$

Man findet aber  $x$  auf folgende Weise durch Schätzung. Vergleicht man den Abstand  $x$  am  $m$ ten Theilstriche mit dem Abstände  $y$  am  $(m + 1)$ ten Striche nach dem Augenmasse, und zeigt sich, dass das Verhältniss beider  $= v : w$  ist, so hat man zur Bestimmung von  $x$ , da  $y = a - x$  ist, die Gleichung:

$$x = \frac{v}{w} y = \frac{v}{w} (a - x)$$

woraus die gesuchte Grösse .

$$x = \frac{v}{v + w} a \quad (76)$$

folgt. Man macht die Schätzung gewöhnlich so, dass  $v + w = 10$  wird,



chen  $b_0$ , welches für den Fall, dass der Theilstrich  $m$  trifft, die Grösse  $ma$  hat: die ganze Länge ist folglich  $L + ma$ . Man entnimmt hieraus, dass bei der oben angegebenen Bezifferungsweise für den vortragenden Nonius dieselbe Ablesregel gilt, wie für den nachtragenden. (Vergleiche S. 109.)

Diese Behauptung bleibt auch in dem Falle wahr, dass keine zwei Theilstriche sich decken. Ereignet sich dieser Fall, so muss nothwendig ein Massstabtheil von einem Noniustheile auf zwei Seiten eingeschlossen sein. Befindet sich der Massstabtheil zwischen den Theilstrichen  $m$  und  $m + 1$  des Nonius und steht der  $m$ te Strich um das Stückchen  $x$  von dem nächst vorhergehenden Theilstriche auf dem Massstabe ab, so denke man sich den Nonius in der Richtung seiner Bezifferung (also von rechts nach links) so weit vorgeschoben, dass der  $m$ te Theilstrich trifft, alsdann ist die Ablesung  $L + ma$  um das Stückchen  $x$  zu klein. Dieses findet man aber wieder wie früher durch Vergleichung mit dem linkseitigen Abstände  $y$  des  $(m + 1)$ ten Noniustrichs von dem nächstgelegenen Massstabstriche. Verhält sich  $x : y = v : w$ , so findet man, da  $x + y = a$  und folglich  $y = a - x$  ist, für  $x$  denselben Ausdruck wie in Gleichung (76); und wenn man die Schätzung des Verhältnisses  $v : w$  nach Zehnteln von  $a$  macht, so ist schliesslich die Vermehrung der Grösse  $L$  wie in Gleichung (77)  $= u' = (m + 0,1 v) a$ .

§. 77. **Ablesung und Uebertheilung.** Feine Nonien haben sehr viele und nahestehende Theilstriche, welche durch Lupen vergrössert werden. Damit man nicht lange nach der Stelle zu suchen hat, wo das Zusammenreffen zweier Theilstriche stattfindet, so beobachte man den Stand des Noniusnullpunkts zwischen den ihn begrenzenden Theilstrichen des Massstabs: liegt dieser Nullpunkt näher an dem vorhergehenden Theilstriche als an dem folgenden, so liegt der Treffpunkt in der ersten Hälfte, ausserdem aber in der zweiten Hälfte des Nonius. Es ist auch nicht schwer, in dieser Weise das Viertel zu bestimmen, in dem das Zusammenfallen zweier Striche stattfinden muss. Das Zählen der Striche wird durch Punkte und Ziffern erleichtert, welche auf der Theilung angebracht sind und grössere Masseinheiten, als die der Noniusangaben sind, vorstellen. Ist z. B. die Angabe  $a = 10$  Sekunden, so befindet sich über dem 6, 18, 30, 42...sten Theilstriche ein Punkt und über dem 12, 24, 36, 48...sten Striche stehen die Ziffern 2, 4, 6, 8..., welche eben so vielen Minuten entsprechen.

Hat man zwei Theilstriche aufgefunden, von denen man glaubt, dass sie zusammenfallen, so untersucht man noch, ob zu beiden Seiten des vermutheten Treffpunkts zwischen den gleichvielten Theilstrichen gleiche Unterschiede ( $a, 2a, 3a \dots$ ) auftreten; ist dieses der Fall, so stehen sich jene zwei Striche genau gegenüber, ausserdem haben die nächstgelegenen links oder rechts diese Eigenschaft. Dieser Prüfung wegen, welche zur Vermeidung einer fehlererzeugenden Parallaxe des Auges immer nöthig ist und wobei man möglichst senkrecht auf die getheilten Flächen sehen soll, findet



## Die Mikrometerschraube.

§. 79. Mikrometerschrauben nennt man im Allgemeinen alle sehr fein geschnittenen Schrauben, womit an Instrumenten kurze gleichmässige Bewegungen ausgeführt werden. Eigentlich gebührt aber dieser Name nur jenen Schrauben, welche zur Messung kleiner Längen und Winkelbewegungen dienen, und wir werden ihn hier bloss in diesem Sinne gebrauchen.

Je nach dem Zwecke, den man mit der Mikrometerschraube erreichen will, sitzt entweder die Mutter fest und die Spindel bewegt sich in Folge einer Drehung längs ihrer Axe; oder die Spindel behält ihren Ort bei und schiebt bei der Drehung die bewegliche Mutter vor- oder rückwärts; oder endlich die Spindel dreht sich nicht und wird durch die Drehung der an einer bestimmten Stelle bleibenden Mutter längs ihrer Axe fortbewegt. Es genügt, wenn man von den verschiedenen Einrichtungen, welche die Mikrometerschrauben haben, nur eine der zweiten und dritten Art betrachtet, da bei vollem Verständnisse der Wirkungsweise dieser Mikrometerschrauben das der übrigen sich von selbst ergibt.

Fig. 80.

In Fig. 80 stellt *b* einen metallenen Rahmen vor, in dessen Nuthen *u*, *u* sich ein Metallstück *m*, das als Schraubenmutter dient, vor- und rückwärts bewegen kann. Die Mikrometerschraube *s* geht durch das Vorderstück des Rahmens und wird dort von einem kugelförmigen Ansätze *a* zwar an der Längenbewegung, aber nicht an der Drehung um ihre Axe gehindert. Diese Drehung geschieht durch den geränderten Kopf *k* und hat die Verschiebung der Mutter *m* zur Folge. Ganze Umdrehungen der Schraube und Theile derselben werden durch die mit der Spindel fest verbundene Trommel *t* und den an dem Rahmen befestigten Nonius *n* gemessen, indem man dessen Stellung gegen die Theilung der Trommel beobachtet. Ist diese in 100 Theile getheilt und beträgt die Höhe eines Schraubengangs z. B. 0,3 Linien, so wird, wenn die Trommel um 1 Theil gedreht wird, die Mutter *m* in der Richtung der Spindel um 0,003 Linien vorrücken, und zwar gegen *a* hin oder davon weg, je nachdem rechts oder links gedreht wird. Würde der Nonius Zehntel eines Trommeltheils anzeigen, so könnte man in dem angenommenen Falle die Bewegung der Mutter *m* und dessen, was mit ihr festverbunden ist, bis auf 0,0003 Linien genau messen.

Die Höhe eines Schraubengangs ermittelt man am leichtesten durch

# andtheile der Messinstrumente.

ann denkt man sich parallel zur Spindel einen  
egt und auf der Mutter einen Zeiger befestigt,  
ng des Massstabs reicht, so kann man diesen  
rch eine bestimmte Länge des Massstabs, z. B.  
dabei die Umdrehungen der Trommel an dem  
man hierauf den Weg der Mutter durch die Zahl  
nel, so ist der Quotient die Höhe des Schrauben-  
einheit, welche für den Weg gewählt wurde.  
nien Verschiebung 333,333 Umdrehungen nöthig  
the eines Schraubengangs 0,03 Linien.

ren ge-

Fig. 81.

Fig. 82.

Durch-  
chteten

Stam-

e, von  
wird.

ig. 82)

latte p,

zu be-

st ver-

st zwar

wenig

Winkel-

r Spin-

vas an-

a.

einen versenkten Stift an einer Drehung um diese .  
enmutter (i, i) stützt sich mit einer abgerundeten  
Boden des mit dem Instrumente fest verbundenen  
ig die Trommel t und den geränderten Kopf b,  
ben dient. Steht das Rohr e, wie es hier der  
einer rechtläufigen Drehung der Mutter i die  
latte p sich senken; damit aber diese Platte bei  
ich wieder erhebe, ist um die Schraubenspindel  
en, welche ihre Bestimmung erfüllt, indem sie,  
den von e drückend, die stetige Berührung der  
e herstellt. Die Trommel t ist in 100 Theile  
en Zeigers z' kann man die Umdrehungen bis  
bestimmen, wenn man in der Schätzung der  
bung erworben hat. Die ganzen Umdrehungen  
; einer mit der Platte p verbundenen Scala (g)  
Zeigerstrichs (z) gezählt werden, wenn jeder  
es Schraubengangs gleich gemacht wird. Durch  
x Feder f ist jeder tote Gang der Schraube

inzusehen, wie mit  
kel sehr genau ge-

Fig. 83 den Arm d p

an dem vorderen Ende (p) mit der Platte p verbunden und an dem hinteren Ende (d) drehbar. Ist für den Stand p d eine erste Ablesung an den Zeigern z und z' gemacht, so gibt nach einer recht- oder linksseitigen Drehung, wodurch der Stab d p in die Lage d p' oder d p'' kommt, eine zweite Ablesung die Längen p p' oder p p'' beziehlich gleich h' oder h''. Mit diesen Grössen fände man  $\operatorname{tg} \alpha'$  oder  $\operatorname{tg} \alpha''$ , wenn die Länge l des Stabs p d sehr genau bekannt wäre. Diese Länge braucht man aber nicht, wenn mit dem Arme d p ein Fernrohr fest verbunden ist und die Neigungswinkel  $\alpha'$  und  $\alpha''$ , welche auch die des Rohrs sind, auf später anzugebende Weise sehr genau gemessen werden. Die Winkel  $\alpha'$  und  $\alpha''$  können, wenn sie sehr klein und nicht ganz genau zu messen sind, der Zahl der Schraubendrehungen proportional gesetzt werden, so dass der constante Winkelwerth w, welcher einer ganzen Umdrehung der Schraube entspricht, erhalten wird, wenn man  $\alpha'$  oder  $\alpha''$  durch die zugehörigen Umdrehungen u' oder u'' dividirt.

Fig. 83.

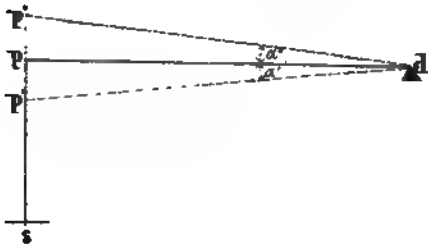
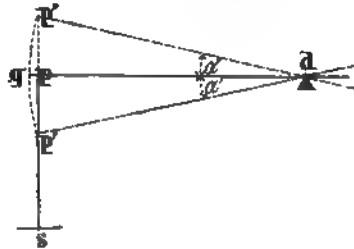


Fig. 84.



Unter dieser Voraussetzung ist der Winkel  $\varphi$ , welcher u Umdrehungen entspricht, aus der Gleichung zu berechnen:

$$\varphi = u w. \quad (81)$$

Gilt aber die Annahme, dass der Winkel  $\varphi$  der Länge h oder den Umdrehungen u proportional ist, nicht, so lässt sich  $\varphi$  wie folgt genauer finden.

Stellt nämlich in Fig. 84 die Linie p d den drehbaren Arm in der Lage vor, worin die Mikrometerschraube s senkrecht auf ihn wirkt, so ist klar, dass die Schraube die Wege p p', p p'' zu durchlaufen hat, um den Arm l in die Lagen d p', d p'' zu bringen. Nimmt man nun die Winkel  $\alpha'$  und  $\alpha''$  den Schraubendrehungen proportional, so werden sie durch die Tangenten statt durch die Bögen gemessen, folglich wird w und demnach auch  $\varphi$  immer etwas zu gross gefunden.

Soll der Ausdruck (81) für  $\varphi$  verbessert werden, so muss man eine positive Grösse  $u^2 w'$ , in der w' einen noch unbestimmten positiven Werth hat, von ihm abziehen, so dass, wenn u die zu einem Winkel  $\varphi'$  und v

# 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

1 Winkel  $\varphi''$  gehörigen Umdrehungszahlen sind, folgende Gleichungen finden:

$$\begin{aligned}\varphi' &= u w - u^2 w' \\ \varphi'' &= v w - v^2 w'.\end{aligned}$$

Wenn man sich durch Abziehen der Winkel  $\varphi'' - \varphi'$ , welcher der Winkel zwischen der vten und uten Umdrehung durchlaufen hat

$$\psi = w (v - u) - w' (v^2 - u^2). \quad (82)$$

Die Constanten  $w$  und  $w'$  werden dadurch bestimmt, dass man ein mit einem Arme festverbundenes Fernrohr durch die Schraube auf bekannte Winkel  $\varphi$  und  $\varphi''$  genau einstellt, die hierzu nöthigen Umdrehungen  $u, v$  aus den vorletzten zwei Gleichungen die Werthe von  $w$  und  $w'$  findet man sehr gut, ja nothwendig,  $w$  und  $w'$  aus mehr als zwei Beobachtungen bestimmen. Mehr Beobachtungen ziehen aber auch mehr Abweichungen nach sich, und es werden je zwei derselben etwas abweichende Werthe sowohl für  $w$  als für  $w'$  geben. Sind diese verschiedenen Werthe aus lauter gleich guten Beobachtungen hervorgegangen, so sind sie ein gutes Mittel aus den zusammengehörigen Werthen die Constanten zu finden.

Im Gebrauch der Gleichung (82) durch ein Beispiel zu erläutern, nehmen wir, dass für die Mikrometerschraube an dem später zu besprechenden Stampfer'schen Nivellirinstrumente der polytechnischen Schule der Werth von  $w = 640$  Secunden und von  $w' = 0,07$  Secunden gleich

$$\psi = 640'' (v - u) - 0,07 (v^2 - u^2)$$

der Winkel  $\psi'$  nun, welcher 10 Umdrehungen, von 0 an gerechnet, wird aus dieser Gleichung erhalten, wenn man  $v = 10$  und  $u = 0$ . Für diese Werthe wird  $\psi' = 6393'' = 1^\circ 46' 33''$ . Will man den Winkel  $\psi''$  haben, der 10 Umdrehungen zwischen den Ablesungen auf der Scala ( $g$ ) entspricht, so muss  $v = 30$  und  $u = 20$  genommen. Dann wird aber  $\psi'' = 6365'' = 1^\circ 46' 5''$ . Der Winkel  $\psi''$  ist um 28 Secunden kleiner als  $\psi'$ , obwohl jeder aus einer gleichen Anzahl von Umdrehungen hervorgegangen ist. Hierin zeigt sich deutlich die Wichtigkeit des zweiten Glieds in dem Ausdrucke für  $\varphi$  oder  $\psi$  und somit die Wichtigkeit der Correction, den man bei ausschliesslicher Anwendung der Gleichung (81) vernachlässigt.

Man kann fragen, bei welchem Stande  $m$  der Schraube (d. i. bei welcher Ablesung an der Scala  $g$  und der Trommel  $t$ ) der Winkelwerth  $\psi$  eine bestimmte Grösse  $\psi'$  hat. Dieser Stand folgt leicht verständlichen, der (82) nachgebildeten Gleichung

$$\begin{aligned}\psi &= w \left( (m + \frac{1}{2}) - (m - \frac{1}{2}) \right) - w' \left( (m + \frac{1}{2})^2 - (m - \frac{1}{2})^2 \right) \\ &= w - 2 m w'\end{aligned}$$



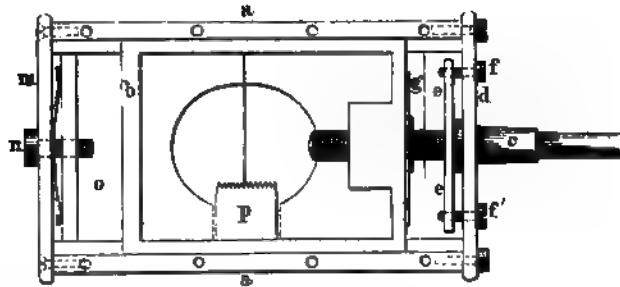


schiedene Weise ausgeführt; nachstehend ist die von Ertel und Sohn in München angewendete abgebildet und beschrieben.

Fig. 85 stellt einen zur Ebene des abzulesenden Massstabs senkrechten und durch die Mikroskop- und Schraubenaxe gehenden Durchschnitt des oberen Theils des Schraubenmikroskops vor; Fig. 86 ist eine Oberansicht

Fig. 85.

Fig. 86.



des Schraubenkastens, von dem das Ocular, und der Schraube, von welcher die Trommel und der geränderte Kopf weggenommen ist; Fig. 87 endlich stellt theilweise eine Seitenansicht, theilweise einen Schnitt senkrecht auf die Ebenen der vorhergehenden Figuren vor.

In dem Kasten *a* *r* bewegt sich der Schlitten *b* vor- oder rückwärts, je nachdem die Schraube *c*, welche durch den Deckel *d* des Kastens an einer fortschreitenden Bewegung gehindert ist, rechts oder links gedreht wird. Die federnde Platte *e*, welche durch die Schraubchen *f*, *f'* mit *d* verbunden ist, und die gleichfalls elastische Spange *g* dienen dazu, jeden toten Gang der Schraube möglichst zu verhindern. Die Trommel *h* ist auf die Schraube









zweite Nullrichtung auf eine Stelle  $\alpha'$  des Limbus, welche zwischen zwei Theilstrichen  $\nu$  und  $\nu''$  liegt, so ist erstens die unmittelbare Ablesung an dem Gradstriche zu machen, welcher vor  $\omega'$  steht (hier  $34^{\circ} 50'$ ), und zweitens die mittelbare Ablesung an der Schraube, sobald durch diese der Faden  $a\ p$  über den Theilstrich  $\nu$  des Limbus, also in die Richtung  $\delta\ 0'\ \nu$  gebracht ist (hier  $2' 35''$ ). Demnach beträgt die Gesamtablesung  $34^{\circ} 52' 35''$ .

Welches der Theilstrich sei, auf den man den Faden zu stellen hat, kann man im Zweifelsfalle in der Regel leicht dadurch entscheiden, dass man überlegt, welcher Theilstrich innerhalb des durch den Rechen begrenzten Wirkungsraums der Visirlinie  $\alpha\ 0\ \gamma = \alpha'\ 0\ \gamma'$  fällt: an Fig. 91 links erkennt man sofort, dass dieses nur der Theilstrich  $\nu$ , nicht aber  $\nu'$  sein kann. Wenn jedoch der besondere Fall eintritt, dass der Nullpunkt der Marke nahe mit einem Striche der Gradtheilung und folglich jede der Visirlinien  $\alpha\ 0$  und  $\gamma\ 0$  des Mikroskops ebenso nahe mit einem von zwei aufeinanderfolgenden Strichen des Limbus  $\nu'$  und  $\nu$  zusammentrifft, so braucht man nur den Faden  $a\ p$  über den dem nullten Zahne  $\alpha$  zunächst liegenden Theilstrich des Limbus zu stellen und an der Schraubentrommel abzulesen: gibt die Ablesung vom Nullpunkte der Trommeltheilung aus in der Richtung der Bezifferung einen kleinen positiven Werth, so ist  $\nu'$  der richtige Punkt, erhält man aber eine kleine negative Ablesung, so ist  $\nu$  der Strich, welcher der Nullrichtung des Mikroskops vorausgeht und bei der Ablesung benützt werden muss; denn in dem ersten Falle fällt  $\nu'$  und in dem zweiten Falle  $\nu$  in den Winkelraum  $\alpha\ 0\ \gamma$  des Mikroskops, oder es liegt der Nullpunkt  $\alpha'$  in dem ersten Falle links und in dem zweiten rechts vom Theilstriche  $\nu'$  des Limbus.

**§. 83. Prüfung und Berichtigung.** Um zu untersuchen, ob Mikroskop und Schraube allen Anforderungen entsprechen, wird man das erstere auf seine Deutlichkeit und auf die Bildgrösse eines Limbustheils, die letztere aber auf die Gleichförmigkeit ihrer Bewegung zu prüfen haben. Die Deutlichkeit des Mikroskops mit Einschluss seines Fadensystems wird, abgesehen von der Entfernung der zu betrachtenden Gegenstände, in ähnlicher Weise wie beim astronomischen Fernrohre untersucht und in Bezug auf die Fäden auch hergestellt. Damit aber die Bildgrösse eines Theils des Limbus, welcher  $n$  Minuten umfasst, mit der Gesamthöhe von  $n$  Schraubengängen übereinstimmt, muss man den deutlich sichtbaren Faden des Mikroskops sowie die Trommel der Schraube auf Null stellen und den ersteren genau über einen Limbustheilstrich bringen. Dreht man dann die Schraube  $n$  ganze Mal um und es steht der Ocularfaden genau über dem  $(n + 1)$ ten Zahne und dem nächsten Limbusstriche, so ist dieses ein Beweis, dass das Bild und der Rechen die richtige Grösse haben; trüfe aber der Faden wohl über die Spitze des  $(n + 1)$ ten Zahns, nicht aber auf den Limbusstrich, so wäre zwar der Rechen im Ganzen richtig, das Bild aber zu klein oder zu gross, wenn der Ocularfaden über den Limbusstrich





und bei einer späteren Untersuchung gleich

$$l_2 = n u + v_2$$

gefunden, so ist klar, dass die neue mittlere Bildlä  
verhalten wird wie  $l_2$  zu  $l_1$  und dass demnach

$$l' = \frac{l_2}{l_1} \cdot l = m l$$

ist, wobei  $m$  den Reductionsfactor vorstellt. Die  
bleiben selbstverständlich unverändert, da sie nicht  
Mikroskops gegen den Limbus, sondern nur von  
Schraube abhängen, welche hier als tadellos gearbe  
vorausgesetzt ist. (Die feinsten geodätischen und ast  
erfordern allerdings auch eine ausführliche Untersu  
gänge, worauf wir jedoch hier nicht eingehen wollen

Hätte sich an einem bestimmten Instrumente,  $f$   
 $l = 10' = 600''$  ist, bei der ersten Untersuchung  $v =$   
und bei einer späteren Untersuchung  $v_2 = + 1,5$  ei  
gende Bestimmungsgleichungen statt:

$$(1) 600 = 10 u + 0,8 \quad (3) l_2 =$$

$$(2) l_1 = 10 u - 0,2 \quad (4) m =$$

und es wäre aus (1) der Werth von  $u = 60'' - 0''$   
 $1'' - 0'',0013 = 0'',9987$ , ferner aus (2)  $l_1 = 599''$   
(3)  $l_2 = 599'',2 + 1'',5 = 600'',7$  und aus (4)  $m$   
 $1,0025$ .  $l = 601'',5$ .

### Der Messkeil.

§. 84. Die Erfahrung lehrt, dass es für die ge  
Linien nicht gut ist, die an einander zu reihenden  
berühren zu lassen, weil dadurch leicht eine Versch  
anderen bewirkt werden kann. Auf Grund dieser E  
bach vorgeschlagen: erstens die metallenen Massstä  
scharfe Kanten auslaufen zu lassen, welche senkrech  
zweitens diese Stäbe bei der Messung so in die gera  
sich immer eine lothrechte und eine wagrechte K  
ohne sich zu berühren; und drittens den Abstand bei  
dazwischen geschobenen flachen Keil, dessen Dicke  
ist, zu messen. Man nennt diesen Keil nach dem  
besteht, bald Stahl- bald Glaskeil; wir werden ihn  
hängig von seinem Stoffe, den Messkeil nennen.

Ein solcher Keil ist hier in seiner Stellung zwis  
(M und M') gezeichnet. Die Länge  $bd$  desselben bei  
meter und die Breite 1 Centimeter. Den Keilfläch  
vollkommen eben gearbeitet sein müssen, gibt man

# 1. Bestandtheile der Messinstrumente.

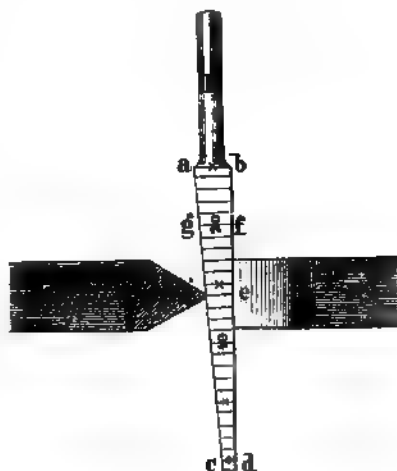
parallelen Seitenflächen wird durch gleichweit entfernte Kante (b d) senkrecht stehende Striche so abgetheilt, dass es Keils an der Stelle i e, welche von beiden Kanten zu-  
rd, aus einer beson-  
ort entnehmen kann.  
nen 1 Millimeter von  
sein. Trifft die Kante  
Ordinaten, so schätzt  
d von einer derselben  
bei der abgelesenen  
in Rechnung. Die  
n irgend einer Stelle  
u bestimmen, wenn  
zwei Stellen (a b,  
ernung gegeben ist,  
setzt, dass die Keil-  
Ebenen sind. Setzt  
 $=d$ ,  $cd=d'$ ,  $bd=a$ ,  
y, so ist

$$\frac{d-d'}{a} x. \quad (83)$$

0"',  $d=2''$ ,  $d'=0''$ ,5, so fände man für die Abscisse  
ke  $y'=1,85$  Linien, und für die Abscisse  $x'=27''$ ,5 die  
5 Linien. Der Unterschied beider Dicken betrüge somit  
inie. Da man den Zwischenraum von einer halben Linie  
sicher noch in fünf Theile theilen kann, so geht hieraus  
dem eben beschriebenen Keile der Abstand zweier Metall-  
nfalls bis auf  $\frac{1}{200}$  Linie genau gemessen werden kann.

ung des Keils. Schwerd wandte zur Bestimmung der  
zeile, welche er zur Messung der kleinen Speyerer Basis  
ndes Verfahren an. Er verfertigte drei verschiedene Mes-  
n Seitenflächen genau parallel waren und deren Breiten  
nd weite Lehren vollkommen passten. Hierauf schob er  
enden Keil nach und nach in jede dieser Lehren und be-  
aten, bis zu welchen derselbe eindrang. Diese Ordinaten  
lang als die Messingstreifen breit, und es kam nunmehr  
reite der Streifen zu finden. Zu dem Ende wurden die  
Mitte quer durchschnitten und je zwei zusammengehörige  
genau getheilten Maassstabe abwechselnd aneinander ge-  
lich grosses Vielfaches dieser Breite gemessen war. Bei  
rlegen musste selbstverständlich jeder Stoss und jede Er-  
berühren mit der blossen Hand vermieden werden, wess-

Fig. 92.



halb die Messingstücke durch Stricknadeln fortgeschoben, gehalten und an einandergepasst wurden. Auf diese Weise fand Schwerd, dass für einen seiner Keile den Ordinaten 44,4; 16,2; 4,4 nacheinander die Keildicken 6,4073; 2,7070; 1,1815 Millimeter entsprechen.

Aus den beiden ersten Ordinaten berechnet sich nach Gleichung (83) der Werth der Ordinate 10 zu 1,8937 und aus den beiden letzten zu 1,9030 Millimeter; im Mittel also zu 1,8993 Millimeter. Auf Grund der in dieser Weise ermittelten Längen von 4 Ordinaten erhält man die übrigen Keildicken, indem für die Ordinaten

von 0 bis 10 die Angaben: Ord. 10 = 1,8993 und Ord. 4,4 = 1,1815 mm  
 „ 10 „ 16 „ „ 10 = 1,8993 „ „ 16,2 = 2,7070 „  
 „ 16 „ 45 „ „ 16,2 = 2,7070 „ „ 44,4 = 6,4073 „

benützt wurden. Schwerd fand hierdurch den Unterschied zwischen je zwei auf einander folgenden und ungefähr  $2\frac{1}{2}$  Millimeter entfernten Ordinaten oder Keildicken:

in dem ersten Theile von 0 bis 10 = 0,12821 Millimeter;

„ „ zweiten „ „ 10 „ 16,2 = 0,13024 „

„ „ dritten „ „ 16,2 „ 45 = 0,13115 „

Da man die Zahl der Ordinate bis auf ein Zehntel schätzen konnte, so war folglich mit dem Keile eine Messung bis zu 0,013 Millimeter Genauigkeit möglich.

Bessel verfuhr bei Prüfung seiner Messkeile, welche zur Gradmessung in Ostpreussen dienten, in ganz anderer Weise. Er benützte dazu, wie in Fig. 93 angedeutet, ein auf einem Gestelle (g) befestigtes Stahlprisma (k), dessen scharfe Kante (s) wagrecht lag, und einen polirten Stahlcylinder (c), der eine lothrechte Schneide (s') hatte und in einer hohlen Bahn mit seiner Axe parallel bewegt werden konnte. Die Bewegung dieses Cylinders wurde durch ein Schraubenmikroskop auf's genaueste gemessen. Die Messung der Keildicken begann damit, dass man den Cylinder c so weit an den Keil k schob, bis sich die Schneiden s und s' genau berührten. Alsdann las man den Stand der Mikrometerschraube ab. Hierauf wurden nach und nach alle Ordinaten des zu untersuchenden Keils zwischen die Schneiden s und s' gebracht und jedesmal der Stand der Schraube abgelesen. Es ist klar, dass der Unterschied der Ablesungen zwischen irgend zwei Ordinaten dem Unterschiede dieser Ordinaten proportional ist, und dass man hieraus die Länge jeder Ordinate erhält, sobald man den Werth eines Schraubengangs kennt. Die gläsernen Mess-

Fig. 93.

l zur Bezeichnung der Operationspunkte.

en zwischen den Endpunkten ihrer Scala, welche 20 Theile und es war die unterste Ordinate 0,8 und ang. Bessel berechnete hiernach zuerst die Längen und bestimmte sie alsdann durch wiederholte Versuche. wischen den berechneten und beobachteten Keildicken stzteren ergaben sich für die von Bessel untersuchten

1.	2.	3.	4.	5.
Duodecimal-Linien.				
0,0056	— 0,0058	— 0,0051	— 0,0067	— 0,0055
0,0044	— 0,0044	— 0,0044	— 0,0059	— 0,0052
0,0030	— 0,0037	— 0,0031	— 0,0041	— 0,0042
0,0025	— 0,0028	— 0,0025	— 0,0036	— 0,0039
0,0008	— 0,0011	— 0,0010	— 0,0019	— 0,0022
0,0003	— 0,0002	— 0,0002	— 0,0012	— 0,0006
0,0018	+ 0,0014	+ 0,0010	0,0000	+ 0,0012

le mag als Beweis dienen, dass man mit den Mess-  
ie Genauigkeit von  $\frac{1}{200}$  Linie erlangen kann; denn  
ed zweier auf einander folgender Ordinaten gerade  
durch Schätzung die Anzahl der Ordinaten von 120  
schied je zweier auf einander folgender auf  $\frac{1}{200}$  Linie  
zeigen vorstehende Zahlenwerthe, welche nach Bessel's  
Decimale noch sicher sind, dass man durch das bei  
lte Messverfahren bis auf  $\frac{1}{1000}$  Linie genau messen  
Verfahren von der Messung mit den Messstangen  
eidet, dass man hierbei das Mikroskop und die Mikro-  
, so darf man wohl wie oben die Genauigkeit der  
e setzen.

## Zweiter Abschnitt.

bezeichnung der Operationspunkte.

, deren gegenseitige Lage durch Messung bestimmt  
rher abgesteckt oder durch entsprechende Merk-  
Man kann aber auf dem Felde einen Punkt nur  
xe eines an seiner Stelle sich befindenden festen



zung der Operationspunkte.

en, bloss durch ein Beil hergestellten  
ige Bezeichnung des Grundpfahls trägt.  
r Grundpfahl durchschnitten und der  
von jenem entfernt ist, in der Ansicht  
nd Beispfähle finden bei der Aufnahme  
i. von lothrechten Durchschnitten der

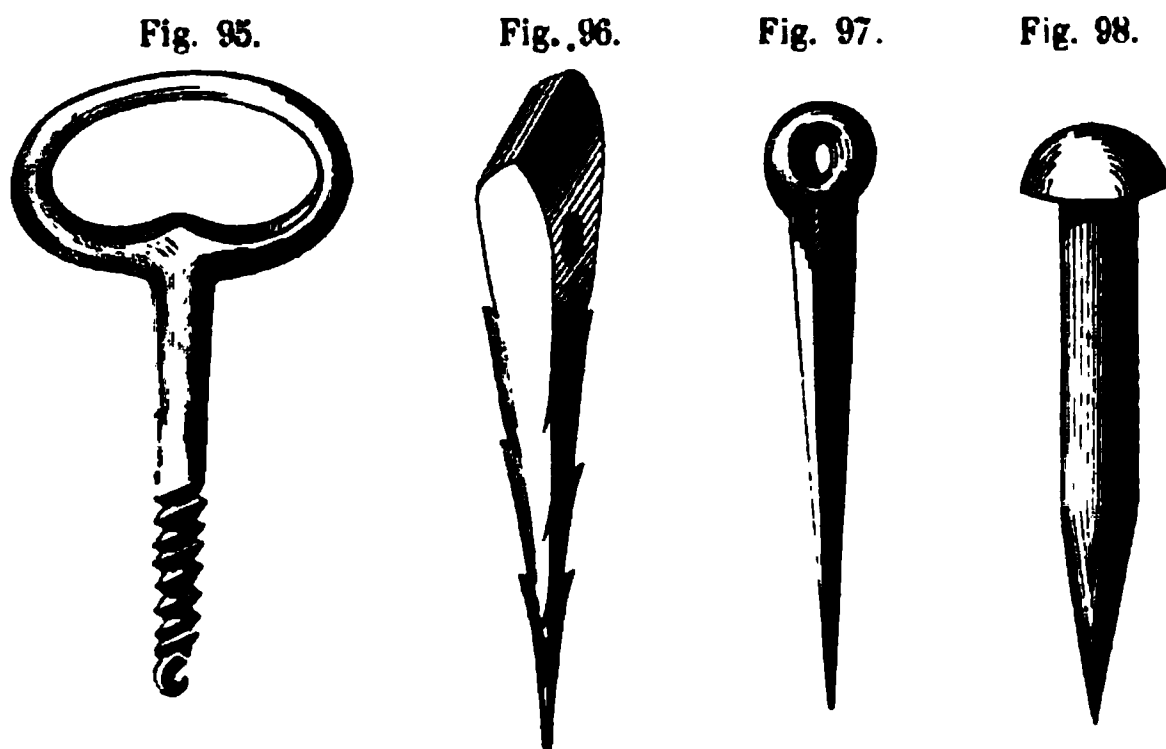
ehr oft nöthig, krumme Linien von, be-  
gen, auf dem Felde abzustecken. Diese  
nzelne Punkte jeder Curve oder, wenn  
othrechtstehenden Cylinderfläche, worin  
Dazu dienen Pfähle von derselben Be-  
enen Beispfähle, indem es genügt, wenn  
3 über die Bodenfläche vorstehen. Die  
chnet man in der Regel mit grösseren  
n Punkte, damit man Anfang und Ende  
.. Auch gibt man den Pfählen dieser  
sich auf die Berührung beziehen.

markung oder ein Plan derselben auf-  
e erste Arbeit der Aufnahme in der  
nen Bestandtheile derselben, d. i. aller  
Flüsse, Häuser, Gärten u. dgl. Man  
e, welches 30 Centimeter lange, 5cm  
zte Spalten aus Tannen- oder Fichten-  
rer Verwendung mit fortlaufenden Num-  
l auch die Mühe, sie zu durchbohren  
Ziffern aneinander zu reihen, um sie  
Umgehung und Abpföckung der Flur-  
Nummern zu verwenden.

## l Schrauben.

Bergwerke selten erlaubt, zur Bezeich-  
len, so bedienen sich die Markscheider  
geln und Schrauben, welche in dem  
, Schächte etc. leicht befestigt werden  
werden die geraden Linien durch ange-  
an den Endpunkten von Markscheide-  
en. Diese Schrauben sind von Messing,  
l haben oben einen schlüsselähnlichen  
e Holzschrauben. Bei wagrechten (söh.  
setzt man diese Schrauben höchstens  
tie Schnur eine für die Messung schäd-

Dauerhafter, als es mit Markscheideschrauben möglich ist, kann man Punkte mit dem Punkteisen (Fig. 96) bezeichnen. Diese Eisen sind im Grunde nur dicke Nägel von 15 bis 20cm Länge, welche am Kopfe 3cm



breit sind und ein Loch haben, um die Schnur aufzunehmen. Man kann sie für Horizontal- und Verticalaufnahmen benützen. Sollen sie in festem Gesteine angewendet werden, so muss dieses erst ausgebohrt und mit einem hölzernen Dübel ausgefüllt werden, in den alsdann das Punkteisen eingeschlagen wird.

Sind in den Firsten von Stollen oder Strecken Punkte zu bezeichnen, von denen bloss herabgesenkelt wird, so geschieht dieses mit Senkeleisen (Fig. 97), welche eine Länge von 7 bis 10cm und eine etwa 1cm weite Oeffnung haben, durch welche die Senkelschnur gesteckt werden kann.

Als Fix- oder Anhaltspunkte für das Nivellement eines Stollens oder einer Strecke dienen die Sohlnägel (Fig. 98), welche 1 Decimeter lang und am Kopfe 4 bis 6cm breit sind. Diese Nägel werden in Sohlschwellen oder hölzerne Dübel eingeschlagen und sind behufs späterer Benützung gegen Beschädigung zu schützen.

## Fluchtstäbe und Messfahnen.

§. 89. **Beschreibung.** Zur vorübergehenden Bezeichnung von nahe-  
liegenden Punkten und hierdurch bestimmten geraden Linien dienen die  
Fluchtstäbe (Absteckstäbe, Baken), welche in Form von Cylindern aus  
gut getrocknetem Tannenholze 2 bis 3m (6 bis 10') lang und 3 bis 4cm  
(1 bis 1,3") dick gemacht werden. Diese Stäbe sind zum leichteren Ein-  
stecken in den Boden an ihren unteren Enden mit kegelförmigen eisernen  
Schuhen beschlagen, und zum besseren Erkennen in der Ferne von Viertel-  
meter zu Viertelmeter oder auch von Fuss zu Fuss abwechselnd roth und  
weiss, manchmal auch schwarz und weiss angestrichen. Der weisse An-  
strich sticht gegen dunkle und der rothe gegen helle Gegenstände gut ab,

ttel zur Bezeichnung der Operationspunkte.

ze für schneebedeckten Hintergrund empfohlen wird. othe Farbe eben so gut, und da man doch nur selten , eignet sich der roth und weisse Anstrich am meisten . Dass die Farben von 25 zu 25<sup>cm</sup> oder von Fuss zu darin seinen Grund, dass die Fluchtstäbe manchmal zu ssungen benützt werden müssen, wenn es an besseren

ststäben führt der ausübende Geometer meist auch eine rer Stäbe mit sich, an denen sich oben ein Fähnchen esser Leinwand befindet. Diese Messfahnen eignen esseren Höhe ihrer Stäbe und der Bewegung der ge- ifen zur Aufstellung hinter Hecken, niedrigem Gebüsch, upt an solchen Stellen, wo sich die Fluchtstäbe nicht n. Ihre Stäbe unterscheiden sich von den Fluchtstäben , welche 3 bis 4<sup>m</sup> (10 bis 15') beträgt.

Um auf felsigem Untergrunde, auf Strassenpflaster, Plattenbeleg und anderen harten Körpern Fluchtstäbe aufstellen zu können, dienen gusseiserne Dreifüsse von der in Fig. 99 dargestellten Form, welche die Stäbe mit einer Schraube (b) festzuhalten und mit drei anderen (a, a' a'') lothrecht zu stellen gestatten.

§. 90. Gebrauch. Das Abstecken einer geraden Linie mittels Fluchtstäben gründet sich auf den geradlinigen Fortgang des Lichts und setzt voraus, dass man einen solchen Stab lothrecht zu halten und in den Boden zu stecken wisse. Man könnte diese Stellung durch einen Senkel prüfen, aber diese Prüfung wäre für diesen Zweck zu umständlich und bei einigermassen windigem Wetter gar nicht ausführbar. Es hält indessen nicht schwer, das Auge so zu gewöhnen, dass es in einiger Entfernung vom Stabe dessen schiefe oder lothrechte Stellung bald sicher schätzt, namentlich wenn man sie mit fernliegenden Gegenständen, welche lothrechte Linien an sich tragen, wie Häuser, Thürme, Bäume u. s. w. vergleicht.

Bei durch lothrechte Stäbe bezeichneten Punkten (A und in die dadurch bezeichnete gerade Linie eingesteckt h der Geometer an einem Ende (A) der Linie auf und , der rechten und linken Seite des vor ihm stehenden h dem entfernteren Stabe (B) und gibt seinem ihn an- ler den einzusteckenden Stab (C) mit ausgestrecktem

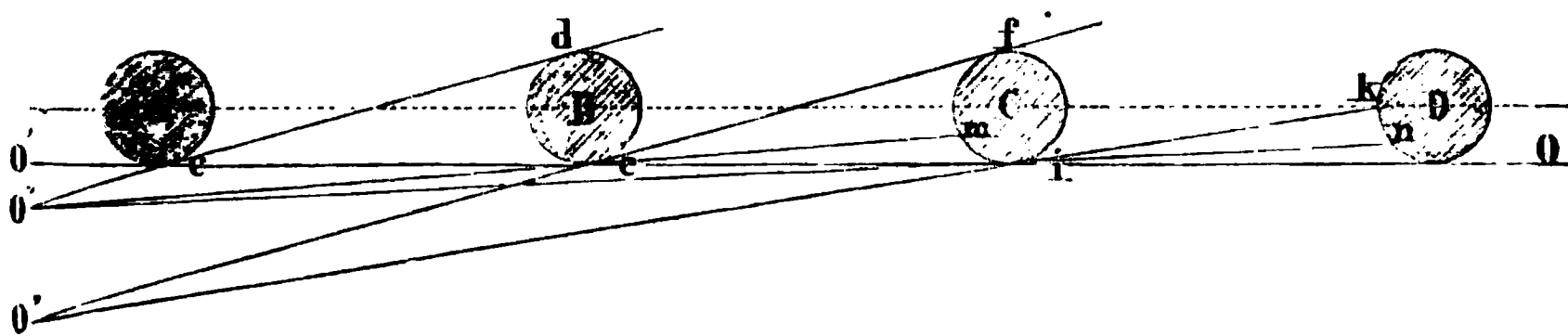
Daumen und Zeigefinger frei hält, die erforderlichen ng nach rechts oder links, bis der dritte Stab (C) von eckt wird und beide den zweiten (B) decken.



Auf diese Weise kann man zwischen zwei gegebenen Stäben mehrere einschalten, wobei sich übrigens von selbst versteht, dass man mit dem entferntesten den Anfang machen muss. Auch ist hierdurch klar, dass man eine durch zwei Punkte bestimmte Gerade rückwärts verlängern kann, indem man einen Stab nach dem anderen auf die vorhergehenden einrichtet.

Um zu prüfen, ob mehrere Stäbe genau in gerader Linie stehen, bringe man durch Bewegung des Kopfes das zielende Auge bald rechts bald links von dem nächsten Stabe und vergleiche, ob die übrigen Stäbe auf beiden Seiten regelmässig nacheinander hervortreten. Findet diese Regelmässigkeit statt, d. h. ist der zweite Stab früher sichtbar als der dritte, dieser früher als der vierte u. s. f., so stehen die Stäbe richtig; kommt aber ein entfernter Stab früher zum Vorschein als ein näherer, so muss die Aufstellung des einen oder anderen Stabs verbessert werden.

Fig. 100.



Durch Fig. 100 wird diese Prüfungsmethode anschaulicher. Steht nämlich das Auge in  $O'$ , so berührt die an A streifende Visirlinie  $O'O$  alle in gerader Linie stehenden Stäbe A, B, C, D; kommt das Auge nach  $O''$ , so kann man den Stab B ganz und von C einen grösseren Theil als von D sehen, oder auch: es tritt B früher aus der Linie als C, dieser früher als D u. s. w. Dasselbe gilt für die Stellung  $O'''$  des Auges und für ähnliche Stellungen desselben auf der linken Seite sämtlicher Stäbe.

Wie weit man die Absteckstäbe höchstens auseinander stellen darf, hängt von ihrer Dicke, von der Beleuchtung, dem Hintergrunde und der Beschaffenheit des Auges des Geometers ab. Wenn alle Umstände günstig sind, so kann man 3 bis 4<sup>cm</sup> dicke Stäbe 50 bis 60<sup>m</sup> auseinander stecken, weil sich alsdann, was für die Absteckung einer geraden Linie ein Vorthail ist, immer noch der dritte und selbst vierte Stab deutlich erkennen lässt. Kleine Abstände der Fluchtstäbe sind deshalb nachtheilig, weil die Fehler des Einstellens sich häufiger wiederholen und jeder Fehler in der Stellung eines Stabs auf die folgenden Stäbe sich fortpflanzt.

## Signale.

§. 91. Bei weit ausgedehnten Messungen sind gewisse Punkte dauernd so zu bezeichnen, dass das Zeichen oder Signal in grosser Entfernung noch erkannt werden kann: es muss deshalb seine Körpermasse nicht bloss der Sichtbarkeit, sondern auch der Standfestigkeit wegen grösser sein als

die der Pfähle oder Fluchtstäbe. Man kann natürliche und künstliche Signale unterscheiden: zu jenen rechnet man lothrechte Gegenstände, welche sich für Zwecke der Vermessung von selbst darbieten, wie Thurmspitzen, Mauerkanten, Bäume u. s. w., während künstliche Signale alle diejenigen heissen, welche an den betreffenden Stellen erst errichtet werden müssen.

Diese Signale bestehen bei oberirdischen Messungen aus Stangen und aus hölzernen oder steinernen Pfeilern und Pyramiden, bei unterirdischen Messungen aber aus Lampen oder brennenden Kerzen.

#### §. 92. Stangensignale.

Je nach der Entfernung, auf welche man diese Signale sehen will, werden gerade Tannen-

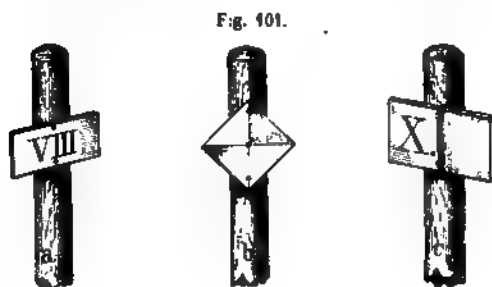


Fig. 101.

oder Fichtenstämmchen von 6 bis 8<sup>m</sup> (2 bis 3<sup>''</sup>) mittlerer Dicke und 5 bis 6<sup>m</sup> (17 bis 20<sup>'</sup>) Höhe abgeschält, an ihrem Wurzelende zugespitzt und an ihrem Gipfel mit einem Brettchen versehen, das eine der nachfolgenden Stellungen (Fig. 101) erhält und entweder durchaus weiss, oder roth und weiss, manchmal auch schwarz und weiss angestrichen ist. Zur Unterscheidung der Signalstangen kann man auf ihre Brettchen Zahlen oder Buchstaben setzen, wie ebenfalls hier angedeutet ist.

Fig. 102.

Zum Aufrichten eines solchen Signals wird erfordert, dass mit Hilfe eines eisernen Vorstosses ein 6 bis 9<sup>dm</sup> (2 bis 3<sup>'</sup>) tiefes Loch in den Boden gemacht werde, in das man die Stange mit Gewalt hinabstösst, nachdem sie vorher so gewendet wurde, dass das Signalbrettchen nach den Seiten gerichtet ist, von wo aus es vorzugsweise gesehen werden muss. Um die Signalstange lothrecht zu stellen, visirt man ihre Mittellinie nach zwei Senkeln ein, die in einiger Entfernung von der Stange so aufgestellt werden, dass die durch sie und die Stange bestimmten Visirebenen sich nahezu rechtwinklig kreuzen. Hat die Stange nahelin die richtige Stellung, so füllt man die sie umgebende Höhlung mit Steinen aus. Durch Einkeilen einzelner Steine auf den entsprechenden Seiten kann man das Signal nach und nach ganz lothrecht stellen. Sehr hohe Signalstangen werden zum Schutze gegen Verdrückung durch den Wind mit einigen Streben versehen, deren oberes Ende an die Stange genagelt ist, während das untere fest in dem Boden steckt.

§. 93. Pfeilersignale. Für untergeordnete Dreieckspunkte zu Landesvermessungen gebraucht man häufig Signale von folgender Form (Fig. 102). Ein 1,5<sup>m</sup> langer und 0,5<sup>m</sup> dicker abgeschälter Baumstamm

(p) wird lothrecht 0,5<sup>m</sup> tief in den ausgehöhlten Boden gestellt und mit Fullmaterial ringsum befestigt. Oben wagrecht abgeschnitten, erhält er eine 0,25<sup>m</sup> tiefe Bohrung (h), um eine 1<sup>dm</sup> dicke, 1,5<sup>m</sup> lange und oben mit zwei sich kreuzenden Signalbrettchen versehene Stange (v) aufzunehmen, deren lothrechte Axe den mit diesem Signal versehenen Punkt vorstellt. Um diese Stange aus der Ferne besser zu erkennen, ist sie mit Kalkmilch weiss angestrichen, was auch mit den beiden Brettchen (m, n) geschieht, wenn man es nicht vorzieht, dieselben halb roth und halb weiss anzustreichen. Soll auf einem so bezeichneten Punkte ein Theodolith aufgestellt werden, um Winkel

Fig. 103.

damit zu messen, so geschieht es, indem man die Stange aushebt und die Alhidadenaxe centrisch über das Loch bringt. Wird es im weiteren Verlaufe der Messung nöthig, an dieser Stelle den Messtisch aufzurichten, so kann man, da alsdann keine Winkelmessung mit dem Theodolithen mehr vorkommt, den Holzpfeiler so weit absägen als nöthig ist, um das Gestell des genannten Tisches über dem gegebenen Punkte auszuspreizen.

Will man einen wichtigen Punkt ganz dauerhaft bezeichnen, so dient dazu ein Steinpfeiler mit gemauerter Unterlage (Fig. 103). Auf dieser Gründung (g) wird zunächst ein Steinwürfel (w) befestigt und in dessen

oberen Theil ein Messingcylinder (c) so eingesetzt, dass seine lothrechte Axe den fraglichen Punkt bezeichnet. Ueber dem Würfel, dessen Oberfläche noch unter dem Boden liegt, stellt man den Steinpfeiler (p) auf und bringt seine Axe in die Verlängerung des unter ihm befindlichen Metallcylinders. Auf der Oberfläche des Pfeilers bezeichnet man die Axe nochmals durch einen zweiten dünnen und 15<sup>cm</sup> langen Cylinder (c'), der zur Hälfte in den Stein reicht, halb aber vorsteht, um eine polirte kupferne Halbkugel (a) von 15 bis 20<sup>cm</sup> Durchmesser aufzunehmen.

Bei Sonnenschein geben solche, von Bessel zuerst angewendete Kugeln ein sehr glänzendes und daher zum Anvisiren sehr geeignetes Sonnenbild. Zwar ändert sich dessen Lage auf der Kugel mit dem Stande der Sonne, und es wird deshalb auch die Visirlinie in den meisten Fällen neben der Axe, welche den Punkt vorstellt, vorbeigehen; aber man kann den Abstand des Bilds von der genannten Axe genau berechnen und danach die Lage der Visirlinie verbessern. Man braucht hierzu nur die Zeit der Beobachtung, die Entfernung des Beobachtungsorts, den Halbmesser der Kugel und die geographische Breite des mit dem Signal versehenen Punkts zu kennen. Eine polirte achtzöllige Halbkugel kann man mit einem Fernrohre von 15 Zoll Brennweite auf eine Entfernung von 30000 Fuss noch gut sehen.

Statt einer solchen polirten Halbkugel kann man auch, wenn sich das Signal auf den Himmel projicirt, eine quadratische hölzerne Tafel von 0,5<sup>m</sup> Seite anwenden, die auf einem gusseisernen mit Stellschrauben versehenen Dreifusse angebracht ist und in dessen Büchse gedreht werden kann. Die schwarz angestrichene Tafel hat in der Mitte einen weissen Streifen von 15 bis 20<sup>cm</sup> Breite, und in diesem bezeichnet eine

be  
tung, welche von Struve, Bessel und Baeyer zu ihren Tr  
angewendet wurde, während der Richtungs-Beobachtu  
feststeht, wird deren Dreifuss mit möglichst schweren €

§. 94. **Bocksignale.** Es kommt nicht selten vor  
Standpunkt für Winkelmessungen sehr hoch nehmen mu  
anderer Punkte über Gebüsch, Wald etc. hinweg anvisi  
wie auch das Beobachten einzelner Punkte sehr hohe Si  
solchen Fällen bedient man sich der hölzernen Bock- oder  
obwohl massive unter allen Umständen besser wären, (i  
Folge der Verbindung ihrer Theile und des Einflusses  
werfen und drehen: steinerne Signale von solcher Höhe  
im Auge haben, sind indessen viel zu kostspielig, als  
wenden könnte.

In den Figuren 104 bis 105 ist ein Bocksignal von 15  
Der innere Theil  $\alpha \beta \gamma \delta$  stellt den Signalständer vor, d  
und eben so vielen Zangen in seiner freien lothrecht  
ten Stellung erhalten wird. (Der Ständer  $\alpha \delta$  kann  
entweder ein angewurzelter oben abgeschnittener oder  
ein abgeschälter künstlich aufgestellter Baumstamm sein,  
auf den nöthigenfalls ein zweiter aufgepfropft werden  
könnte). Den genannten Ständer umgibt das pyrami  
denförmige Steigergüst  $a b c d$ , das aus vier Bäumen  
besteht, mit Rahmen und Streben zusammengehalten  
und oben mit einem festen Bretterboden mit Fallthüre  
und einem Sicherheitsgeländer für den Beobachter ab  
geschlossen ist. Innerhalb dieses Gerüstes führt von  
Abtheilung zu Abtheilung eine steile Stiege, auf der  
das Messungspersonal verkehrt und der Theodolith in  
die Höhe geschafft wird. (Die Instrumente werden auch  
manchmal mittels Rolle und Seil in die Höhe gewunden).  
Weder die Stiege noch deren Gerüst darf mit dem Sign  
eine feste Verbindung gebracht werden, damit dieser m  
Wie der Ständer oben abgeschnitten, mit einem Visirba  
eichenen Beobachtungsscheibe ( $e i$ ) versehen wird, kann  
entnehmen, welche in zehnmal grösserem Massstabe als  
Figuren gezeichnet ist. Theils um die Festigkeit, theils  
des Gerüstes zu erhöhen, wird dieses vom Boden  $c d$  l  
berab mit Brettern verschalt.

§. 95. **Pyramidensignale.** Die abgestumpften be  
nungen als Signale dienenden hölzernen Pyramiden best  
aus vier starken Pfosten ( $p, p$ ), welche nach Fig. 106 dur  
( $r, r$ ) und eine hinreichende Anzahl Streben ( $u, u$ ) und  
zusammengehalten werden. Die Pfosten sind auf ein

Fig. 106.

(q, q) befestigt, der auf dem Boden und mehreren in den Boden geschlagenen Pfählen (t, t) ruht. Aus der oft 40 Meter hohen abgestumpften Pyramide ragt ein mit deren Gerippe fest verbundener 20<sup>cm</sup> dicker und 2 bis 3 m langer Visirbalken (v) hervor, welcher oft eine würfel- oder pyramidenförmige Signalkappe von weissem Eisenblech trägt.

Der Visirbalken steht lothrecht und seine Axe geht aufwärts durch die Mitte der Signalkappe, abwärts durch den auf einer gut fundirten Steinunterlage angemarkten Punkt o. Die Verschalung, welche hier nur von zwei Seiten sichtbar ist, reicht bei kleineren Pyramiden höchstens so weit herab, dass ein unter der Pyramide stehender Mann, ohne sich zu bücken, nach allen Seiten frei hinaussehen kann. Bei sehr hohen Pyramiden nimmt die Verschalung oft nur die oberen Abtheilungen ein, obwohl es für die Erhaltung derselben sehr zweckmässig wäre, sie bis auf die eben bezeichnete Höhe herabgehen zu lassen.

Die Signalkappe dient im Grunde bloss zur leichteren Auffindung des Signals, da das Anvisiren derselben leicht kleine Fehler nach sich zieht, indem die Ziellinie gewöhnlich durch die Mitte der am hellsten erscheinenden Seitenfläche und folglich nicht durch die Axe des Visirbalkens geht. Man richtet daher das Fadenkreuz am besten auf die Mitte dieses Balkens, der durch weissen Anstrich deutlicher sichtbar gemacht wird.

Fig. 407.

Es gibt auch Pyramidensignale, welche sich zerlegen und versetzen lassen. Die Anwendung solcher Signale ist jedoch nur in äusserst seltenen Fällen ökonomisch vorthellhaft und daher wohl nicht zu empfehlen.

§. 96. Lichtsignale. Für die Messung von Horizontal- und Verticalwinkeln in finsternen und engen Grubenräumen sind die vorhergehenden Signale unbrauchbar; man muss hier die mit Fernrohren anzuvisirenden Punkte beleuchten, was entweder ganz einfach durch ein Grubenlicht oder durch Aufstellung eines der nachstehend beschriebenen Grubensignale geschieht.

Das einfachste Signal ausser dem gewöhnlichen Grubenlichte ist eine Lampe, und diese kann entweder zum Aufhängen oder zum Aufsetzen eingerichtet sein.

Die Hängelampe (Fig. 107) besteht aus einem cylindrischen Oelgefässe (a) mit 2 Zapfen, an denen ein Bügel (b) befestigt ist, welcher mittels einer kurzen Messingkette oder einer Schnur an das Ohr eines im Firste eines Stollens oder einer Strecke befestigten Senkeleisens (c) gehängt wird. Das eingeschaltete Glied d gestattet Hebungen oder Senkungen der Lampe, die kleiner sind als die Länge eines Kettenglieds. Nach dem Gebrauche kann die Dülle der Lampe durch einen Deckel geschlossen werden.

Die Setzlampe (Fig. 108) steht auf einem tellerförmigen Untersatze, der durch 3 Fusschrauben (d) mit Hilfe einer Dosenlibelle horizontal gestellt

Fig. 108.

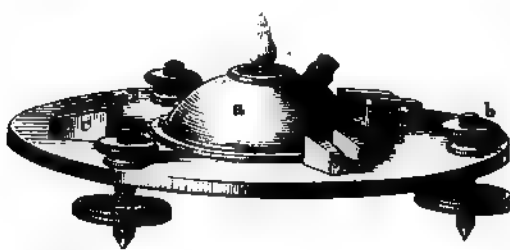


Fig. 108.

Teller horizontal gestellt ist, liegt die Dlle der Lampe in dem Lothe, das durch den Mittelpunkt des Untersatzes geht und mit der Alhidadenaxe des

Theodolithen zusammenfällt. Wird der durch die Lampe bezeichnete Signalkpunkt selbst Scheitelpunkt eines zu messenden Winkels, und muss also auf ihm der Theodolith aufgestellt werden, so müssen aus diesem die Fusschrauben herausgenommen werden, damit der Dreifus fest in den Sätteln (c) ruht. Zur weiteren Befestigung dienen Klemmschrauben (s), welche in den Sattelbacken angebracht werden.

Manche Markscheider benutzen eine Kugel von Milchglas (Fig. 109), in der sich eine Lampe oder ein Wachlicht befindet, als Signal. Diese Kugel (k) wird von einer Messingröhre (m) getragen, welche sich auf einen Dreifus (l), der nach oben in einen verticalen Zapfen ausläuft, aufstecken lässt, und deren Dlle durch den Kopf c wie die eines gewöhnlichen Leuchters gehoben und gesenkt werden kann. Der Dreifus ruht auf einem Gestelle oder Stativ p, wie es für Theodolithen angewendet und bei deren Betrachtung beschrieben werden wird.

Einfacher als das Stativ und der Dreifus ist die Einrichtung des Untersatzes, welche, wie in Fig. 110, bloss aus einem Metallhorn f besteht, der mit einer Baumschraube g auf einem Balken oder Markscheidebock befestigt



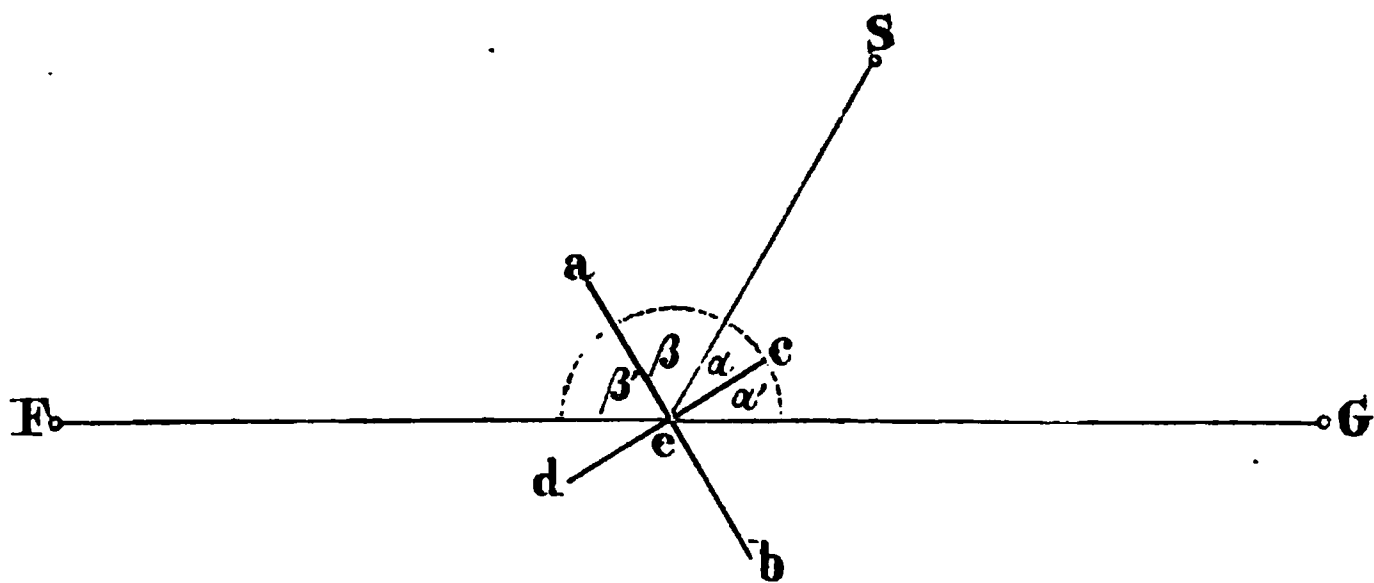


solchen Fällen macht man einem entfernten Beobachter die Stelle eines Signals, auf welche er sein Fernrohr zu richten hat, durch eine Vorrichtung deutlich sichtbar, welche das auf sie fallende Sonnenlicht von ihrem Standpunkte nach dem entfernten Beobachtungsorte hinstrahlt und deshalb Heliotrop (Lichtwender, Sonnenspiegel) heisst. Vier solche Vorrichtungen sind im Gebrauche: eine von Gauss in Göttingen, welche ihr Erfinder im 5ten Bande der Astronomischen Nachrichten von Schumacher beschrieb; eine von Steinheil in München, welche derselbe im Jahrgange 1844 des Astronomischen Jahrbuchs von Schumacher veröffentlichte; eine von Bertram, welche zuerst bei der Gradmessung in Ostpreussen angewendet und in dem gleichnamigen Werke von Bessel und Baeyer (S. 65) beschrieben wurde; endlich eine von Reitz in Hamburg, welche im Jahre 1871 erfunden und patentirt worden ist.

### Das Heliotrop von Gauss.

§. 98. Theorie. Die Einrichtung dieses Instruments gründet sich auf das Grundgesetz über die Zurückwerfung des Lichts. Stellen in Fig. 113 die Linien  $a b$  und  $c d$  zwei ebene Spiegel vor, welche senkrecht auf

Fig. 113.



einander stehen und ihre spiegelnden Flächen nach entgegengesetzten Seiten wenden, und trifft in einer auf die Schnittlinie ( $e$ ) senkrechten Richtung ( $S e$ ) Licht auf beide Spiegel, so wird ein Theil dieses Lichts von dem Spiegel  $a b$  in der Richtung  $e G$  und ein anderer Theil von dem Spiegel  $c d$  in der Richtung  $e F$  zurückgestrahlt. Diese zwei Richtungen sind aber einander genau entgegengesetzt; denn da nach dem angeführten optischen Gesetze der Winkel  $\alpha' = \alpha$  und  $\beta' = \beta$ , nach der Figur aber  $\alpha + \beta = 90^\circ$  ist, so beträgt die Summe aller zwischen  $e F$  und  $e G$  liegenden Winkel  $180^\circ$ , d. h. diese Richtungen sind parallel.

Stellt man sich nun unter  $S$  die Sonne und unter  $S e$  diejenige Richtung ihrer Strahlen vor, welche gegen die Durchschnittslinie  $e$  der beiden Spiegel senkrecht steht, so ist klar, dass man in den Punkten  $F$  und  $G$  das Sonnenlicht in zwei Richtungen empfängt, welche mit dem Durch-





beiden Hälften des grossen Spiegels werden, wenn sie zu stark strahlen, wie in Fig. 115, mit einer Messingblende (B) bedeckt. Verschiedene Stellschraubchen dienen zur Berichtigung der Spiegel. Auf der Spiegelaxe steht eine dünne Messingscheibe (n) senkrecht, um durch ihren Schatten anzuzeigen, ob das Sonnenlicht senkrecht gegen die Spiegelaxe einfällt, wie es der Theorie zu Folge sein muss.

Das fehlerfreie Gauss'sche Heliotrop wird zwischen zwei gegebenen Punkten (F, G) in folgender Weise gebraucht. Man bringt die Spiegelaxe in den einen gegebenen Punkt (F) und richtet das Fernrohr so auf den anderen Punkt (G), dass er von dem Fadenkreuze gedeckt wird. Hierbei muss das Spiegelwerk so zurückgedreht sein, dass man über den kleinen Spiegel wegsehen kann. Dann nimmt man, mit dem Auge durch das geblendete Ocular sehend, gleichzeitig folgende zwei Drehungen vor: mit der linken Hand an dem Stifte y der Fernrohraxe, und mit der rechten Hand an dem Stifte z der Spiegelaxe. Durch die erste macht man die Spiegelaxe senkrecht gegen die Richtung der Lichtstrahlen, und durch die zweite bringt man das Sonnenbild auf das Fadenkreuz. Die Spiegelaxe hat die richtige Stellung, wenn der Schatten der Messingscheibe n ein schmaler Streifen ist und dabei das Sonnenbild den Fadenkreuzpunkt centrisch umgibt. Sobald diese Erscheinungen eintreten, kann man sicher sein, dass der Beobachter in G bei guter Beschaffenheit der Luft das Sonnenlicht in F als einen hellen Stern erblickt, den er nunmehr anvisiren kann.

Durch die scheinbare Bewegung der Sonne wird die Richtung der Lichtstrahlen gegen die Spiegelaxe geändert und es tritt das Sonnenbild aus der Axe des Fernrohrs, wenn nicht die Spiegelaxe nach dem Gange der Sonne, d. h. so gedreht wird, dass fortwährend der Schatten der Scheibe n als schmaler Streifen und das Sonnenbild auf dem Fadenkreuze erscheint.

**§. 100. Prüfung und Berichtigung.** Vor dem Gebrauche des Heliotrops sind mit demselben folgende fünf Untersuchungen vorzunehmen:

- 1) ob das Objectiv und das Fadenkreuz centrirt sind;
- 2) ob die Drehaxe der Spiegel senkrecht steht zur Fernrohraxe;
- 3) ob alle Spiegelebenen ihrer Drehaxe parallel sind;
- 4) ob die beiden Ebenen des grossen Spiegels parallel sind; endlich
- 5) ob die beiden Spiegel genau senkrecht gegen einander stehen.

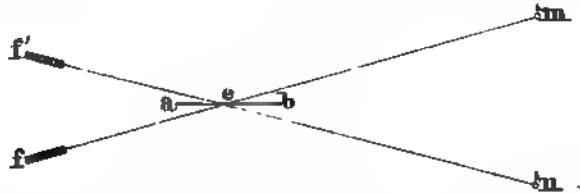
Zu 1. Diese Untersuchungen und die dadurch angezeigten Berichtigungen werden ganz so vorgenommen, wie in §. 70 gelehrt wurde. Dabei versteht es sich von selbst, dass das Spiegelwerk so zurückgedreht sein muss, dass das Objectiv von dem kleinen Spiegel nicht verdeckt wird.

Zu 2. Man stelle das Heliotrop auf eine feste Unterlage und richte die Spiegelaxe e e' (Fig. 116) nach dem Augenmasse lothrecht, den Führungsstift (z z') aber parallel der Fernrohraxe (v w). Nun hänge man an diesem Stifte mit feinen Drähten eine empfindliche Libelle (n) so auf, dass sie nahehin einspielt, und bringe dieselbe durch die Schrauben des Dreifusses



versehene Fernrohre ( $f, f'$ ) so auf, dass deren Axen sich schneiden und auf ihnen die Gegenstände  $m$  und  $n$ , welche 20 bis 30 Meter entfernt sind, deutlich erscheinen. Nun bringe man das Spiegelwerk so in die Kreuzung beider Absehlinsen, dass die zu prüfende Spiegelebene in den Durchschnittpunkt  $e$  derselben kommt, auf der Ebene dieser Linien senkrecht steht und den Winkel  $m e n$  nahezu halbirt. Durch kleine Drehungen des Spiegels

Fig. 118.



kann man bewirken, dass der Gegenstand  $n$  auf dem Fadenkreuze des Fernrohrs  $f$  erscheint. Wendet man nun den Spiegel um seine eigene Axe auf die andere Seite, so wird er den Punkt  $m$  spiegeln. Trifft dessen Bild auf das Fadenkreuz des Fernrohrs  $f'$ , so ist ohne Zweifel die Axe des Spiegels seiner Ebene parallel; weicht es aber vom Fadenkreuze ab, so rührt die eine Hälfte des angezeigten Fehlers von der Lage der Spiegelaxe gegen die Spiegelebene und die andere Hälfte von der Lage des Spiegelwerks her. Beide Fehlertheile müssen nun so lange verbessert werden, bis nach einer halben Drehung des Spiegels nach rechts oder links das Spiegelbild der Punkte  $n$  und  $m$  auf der optischen Axe des auf der Spiegelseite stehenden Fernrohrs erscheint. Die Lage der Spiegel gegen ihre Axe wird durch die Schraubchen  $f, g, k$  (Fig. 115), denen entsprechende Federn entgegenwirken, verbessert.

Zu 4. Das einfachste und hinreichende Genauigkeit gewährende Mittel, sich von der parallelen Lage beider Hälften des grossen Spiegels zu überzeugen, besteht darin, dass man eine gerade Linie, z. B. die lothrechte Kante eines massiven Gebäude, mit der man die Spiegelaxe dem Augenspiegel nach parallel stellt, in den Bestandtheilen des grossen Spiegels betrachtet und zusieht, ob ihr Bild eine einzige gerade Linie ist oder nicht. Erscheint bloss ein Bild, so sind die Spiegelhälften parallel; sieht man aber zwei Linien, welche sich gegen einander neigen, so kommt dieses offenbar von der fehlerhaften Lage eines Spiegels her, welche demnach zu verbessern ist. Hierzu dient die in Fig. 115 mit  $k$  bezeichnete Stellschraube.

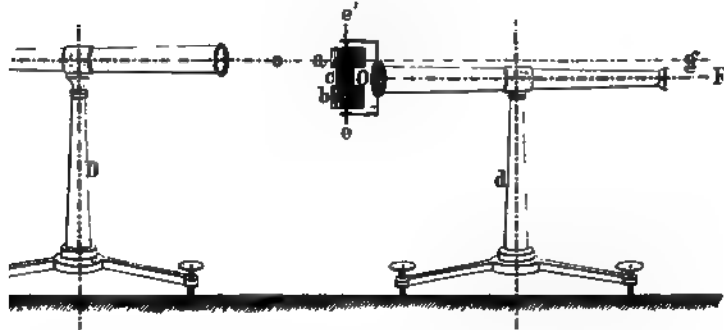
Ein anderes Mittel, die vierte Untersuchung zu machen, ist am Ende der folgenden Nummer angegeben.

Zu 5. Um zu untersuchen, ob der kleine und grosse Spiegel senkrecht auf einander stehen, stelle man nach Fig. 119 das Heliotropenfernrohr ( $F$ ) und ein zweites Fernrohr ( $f$ ) so auf, dass ihre optischen Axen parallel sind und die des Hilfsfernrohrs ( $f$ ) um 3 Centimeter höher liegt als die des Hauptrohrs. Diese Forderung wird am einfachsten dadurch erfüllt, dass

# 1. Mittel zur Bezeichnung der Operationspunkte.

ernrohr F, nachdem es auf einen gut beleuchteten sehr fernen gerichtet war, aus seinen Lagern hebt und hierauf das in die es Hauptfernrohr gebrachte Hilfsfernrohr in der angegebenen

Fig. 119.

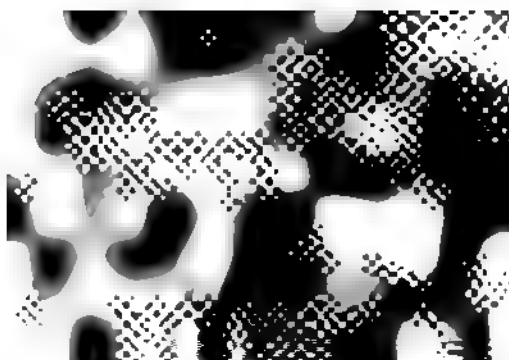


falls auf jenen Gegenstand einstellt. Nun lege man das Helio-  
rohr in entgegengesetzter Richtung, so wie es Fig. 119 andeutet,  
ger, mache die Spiegelaxe nahezu lothrecht und bewirke durch  
die Drehung an dem Spiegel und dem Fernrohre, dass ein zur  
nder Gegenstand (Q) durch Zurückstrahlung aus dem kleinen  
der Axe des Hauptfernrohres erscheine. Zeigt dann gleichzeitig  
rrohr f das Bild von Q auf seiner Axe, so steht der kleine  
recht zu der oberen Hälfte des grossen Spiegels, und folglich  
r unteren, wenn beide vorher nach Nr. 4 parallel gestellt waren.  
ngegebene Erscheinung nicht ein, so wird die Lage des kleinen  
ruch die auf die Feder i (Fig. 115) wirkende und am unteren  
oben angebrachte Schraube verbessert, indem man dieselbe nach  
s lüftet oder anzieht.

Verfahren gründet sich, wie man sieht, auf dieselbe Wirkung  
recht auf einander stehenden Spiegel, welche der Einrichtung  
oben Heliotrops zu Grunde liegt. Man kann dasselbe auch be-  
i die vorhergehende Berichtigung (Nr. 4) zu prüfen, indem man  
ernrohr um 180° in seinen Lagern dreht und nachsieht, ob die  
fte des grossen Spiegels, welche jetzt oben ist, einen auf der  
etzten Seite von Q befindlichen Gegenstand Q' auf der optischen  
ilfsfernrohres abbildet, wenn ihn der kleine Spiegel auf der Axe  
ernrohres zeigt.

sieht der Aufeinanderfolge der Untersuchungen ist zu bemerken,  
hig ist, Nr. 3 vor Nr. 4 zu machen, weil im entgegengesetzten  
Berührung der Schraube f die Berichtigung Nr. 4 wieder stören  
brend es sich von selbst versteht, dass die Untersuchung Nr. 1  
vorausgehen muss.





erhält, welche man ihm durch den Stift  $t$ , der in die Gabel eingeschraubt wird, gibt. An einem um seine optische Axe drehbaren Fernrohre ist der Ring  $w$  unnöthig und kann das Spiegelwerk wie an dem Heliotropenfernrohre befestigt werden.

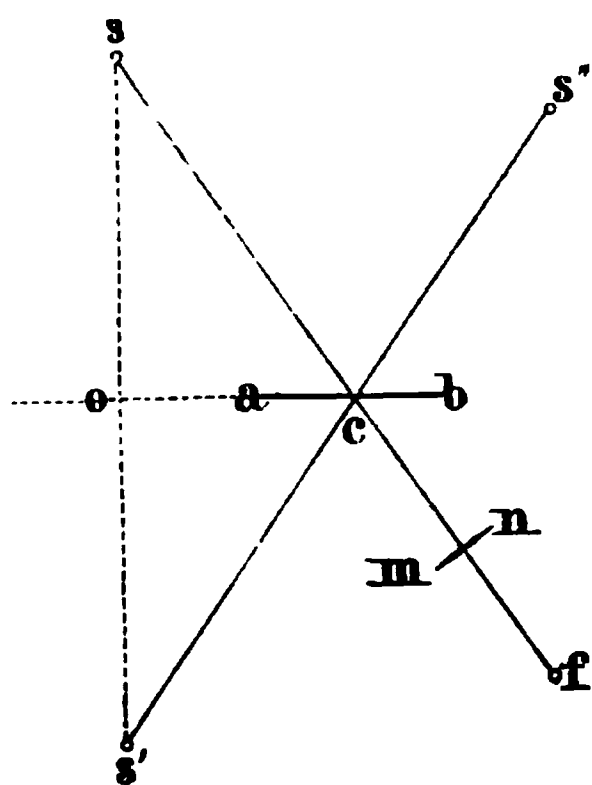
Damit die Spiegelaxe senkrecht zur Absehlinie des Fernrohrs gestellt werden kann, muss sich der Arm  $A'$  etwas verlängern und verkürzen lassen. Dieses ist dadurch möglich, dass er bei  $h$  in dem Mittelstücke der Gabel verschoben und durch zwei Schraubenmuttern  $k, k'$  in der richtigen Lage festgestellt werden kann.

Um eine Hebung des Fernrohrs in seinen Lagern durch das Gewicht des angeschraubten Spiegelwerks zu vermeiden, kann man auf der Ocularseite ein Gegengewicht anbringen, wozu ein hinreichend weiter Ring sich eignet, der ein mit Schrotten gefülltes kleines Gefäß trägt, wenn man es nicht vorzieht, einen massiven Hohlzylinder an der Stelle um die Ocularröhre zu legen, wo in diese das Ocular eingeschraubt ist. Letzteres muss dann selbstverständlich jedesmal abgenommen werden, wenn das Gegengewicht mit dem Fernrohre verbunden oder von diesem entfernt werden soll.

### Das Heliotrop von Steinheil.

§. 102. Theorie. Dieses Heliotrop unterscheidet sich von dem vorigen hauptsächlich dadurch, dass es nur einen einzigen Spiegel hat. Bei der Erfindung desselben kam es darauf an, den Spiegel so einzurichten, dass er zwei an Helligkeit verschiedene Bilder von der Sonne zeige, welche zu beiden Seiten des Spiegels und mit der Erzeugungsstelle in einer Richtung liegen, damit das matte Sonnenbild dazu benützt werden könne, das helle

Fig. 122.



auf den Punkt zu richten, von dem aus es gesehen werden soll. Diese Anforderung wird erfüllt, wenn man in der Mitte des Spiegels ein kleines Scheibchen (von 3 Millimeter Durchmesser) des Belegs ablöst und mit der abgelösten Stelle eine convexe Glaslinse auf die Weise in Verbindung bringt, wie es die nebenstehende Figur verlangt.

Stellt nämlich in Fig. 122 die Linie  $a b$  einen ebenen und parallelen Glasspiegel und  $s$  die darauf scheinende Sonne vor, so ist  $s'$  deren Spiegelbild, welches von dem Belege auf der Rückfläche des Glases  $a b$  erzeugt wird. Ist in  $c$  das Beleg abgenommen, so geht in der Richtung  $s c$  Licht durch das Glas, welches von einer senkrecht entgegengestellten Convexlinse  $m n$  aufgefangen werden kann. Da die Lichtstrahlen, welche auf diese Linse treffen, deren Axe parallel sind, so vereinigen sie sich in dem Brenn-

punkte  $i$  der Linse. Begegnet sich an dieser Stelle eine weisse Fläche von feiner Kreide, so wird diese das empfangene Licht zum Theil wieder auf die Linse zurückstrahlen, und diese sendet es, weil es vom Brennpunkte kommt, in der Richtung ihrer Axe ( $fc$ ) auf die unbelegte Stelle  $c$  des Spiegels  $a b$ . Dort geht ein Theil des Lichts in der Richtung  $cs$  weiter, während der übrige Theil in der Richtung  $cs'$  zurückgeworfen wird und in  $s''$  ein mattes Sonnenbild erzeugt, das, wie leicht zu beweisen ist, mit  $c$  und  $s'$  in einer Richtung liegt. Es ist klar, dass das Bild  $s''$  nur hinter dem Spiegel (durch die Scheibe  $c$ ) und das Bild  $s'$  nur vor dem Spiegel (in der Richtung  $s''c$ ) gesehen werden kann; und eben so leicht ist einzusehen, dass, wenn das Bild  $s''$  einen bestimmten Gegenstand ( $B$ ) deckt, von diesem Gegenstande aus das helle Sonnenbild  $s'$  gesehen werden muss.

Das matte Bild  $s''$  hat ein Aussehen wie der Vollmond und lässt die Gegenstände, welche in seiner Richtung liegen, deutlich durchscheinen; man kann es ganz gut mit blossen Auge ansehen und zur richtigen Stellung des Spiegels benutzen, indem man dessen Lage so lange ändert, bis das Bild  $s''$  da zu liegen scheint, wo das Heliotropenlicht gesehen werden soll, das wie ein hellglänzender Stern funkelt.

Da beide Sonnenbilder durch eine und dieselbe Spiegelebene erzeugt werden: das helle nämlich auf der inneren Seite der hinteren belegten Glasfläche und das matte auf der äusseren Seite derselben Fläche, da wo sie vom Belege frei ist, so ergibt sich von selbst, dass das Steinheil'sche Heliotrop ausser der Einstellung der Kreidefläche gar keiner Berichtigung bedarf.

§. 103. **Beschreibung und Gebrauch.** Fig. 123 gibt eine perspektivische Ansicht und Fig. 124 einen lothrechten Durchschnitt des Steinheil'schen Heliotrops in natürlicher Grösse. Der Spiegel ( $M$ ), welcher eine Länge von 5 und eine Breite von 3 Centimeter hat, ist in Messing gefasst und in der Mitte  $c$  nach einer Kreisfläche von 4 Millimeter Durchmesser vom Belege befreit. Die Fassung lässt sich um eine Axe  $kk'$  drehen, welche durch den Mittelpunkt des Scheibchens  $c$  geht. Der Spiegelträger  $H$  steckt mit einem kegelförmigen Zapfen in einer Hülse ( $D$ ), welche um eine wagrechte Axe ( $E$ ) gedreht werden kann. Der Zapfen des Trägers  $H$  ist durchbohrt und trägt am oberen Ende der Bohrung die kleine Linse  $m$  und in der Höhlung die weisse Fläche  $f$ , welche auf dem Fusse der Schraube  $n$  angebracht ist. Durch die Stellschraube  $p$  kann die Drehung des Zapfens gehemmt werden, während die Feder  $o$  und die Mutter  $r$  dessen Erhebung in der Hülse  $D$  verhindern und überhaupt seine Drehung regeln. Ausser den Bewegungen um die drei Axen  $kk'$ ,  $mn$  und  $E$  ist noch eine vierte um den Gestellzapfen  $z$  möglich, welcher von der Hülse  $F$  umschlossen ist, an der sich das Scharnier  $E$  befindet. Man begreift, wie man durch alle diese Bewegungen dem Spiegel jede beliebige Lage und namentlich eine solche geben kann, bei welcher das durch die Oeffnung  $C$  dringende Licht parallel mit  $mn$  auf die Linse  $m$  fällt und gleichzeitig das matte Sonnenbild einen gegebenen Punkt ( $B$ ) deckt. Der Zapfen  $z$  endigt



Heliotrop selbst verstärkt werden kann. Denn sollen z. B. drei sehr weit entfernte Signalpunkte A, B, C durch drei Heliotrope A', B', C' gegenseitig gut sichtbar gemacht werden, so richtet man zuerst in A ein Fernrohr auf das Signal B ein, wo ein Gehilfe mit dem Heliotrop B' sich befindet. Stellt man hierauf vor dieses Fernrohr das Heliotrop A' so, dass die unbelegte Stelle c in der optischen Axe liegt, so versteht sich von selbst, dass das Sonnenlicht von A nach B kommt, sobald das matte Sonnenbild den durch das Fernrohr gesehenen Punkt B deckt. Der Gehilfe in B wird nunmehr das Heliotropenlicht von A mit bloßem Auge sehen und danach sein Heliotrop B' stellen. Verfährt man mit dem Punkte C, wo ein zweiter Gehilfe mit einem dritten Heliotrop C' sich befindet, eben so wie mit B: so sieht man in A zwei durch Heliotropenlicht bezeichnete Signale B und C, ohne dass zur Einstellung der daselbst befindlichen Heliotrope ein Fernrohr nöthig gewesen wäre. Die Operation in A zeigt übrigens, wie sich das Steinheil'sche Heliotrop mit einem Fernrohre verbinden lässt.

Fig. 125.

#### Das Heliotrop von Bertram.

§. 104. **Einrichtung und Gebrauch.** General Baeyer beschreibt ausser in der oben (§. 97) erwähnten „Gradmessung in Ostpreussen“ auch in dem Werke „Die Küstenvermessung und ihre Verbindung mit der Berliner Grundlinie“ (S. 52) ein einfaches, vom Ingenieur-Geographen Bertram erfundenes Heliotrop, dessen er sich bei jener Vermessung bedient hat. Durch die Werkstätten von Starke und Kammerer in Wien, Ertel und Sohn in München u. a. m. erhielt dasselbe später ein etwas verändertes Aussehen, principiell ist aber dadurch nichts geändert worden. Fig. 125 stellt das der hiesigen polytechnischen Schule gehörige, von Ertel und Sohn angefertigte Bertram'sche Heliotrop vor.

Ein parallelepipedisches Brett von hartem Holze, schwarz gebeizt und mit 2 Metallfüßen (c, c) auf dem Signaltischchen, von wo aus geleuchtet

werden soll, ruhend, kann mittels der in der Längsaxe  $d\ o$  befestigten, auf das genannte Tischchen drückenden Schraube  $f$  im verticalen Sinne auf und ab bewegt werden, während es sich um eine in dem Schnittpunkte der

Fig. 125.



b'

Axen  $b\ b'$  und  $d\ o$  stehende zweite Schraube  $g$  (welche aber hier nicht gezeichnet ist) horizontal drehen und schliesslich (in Gegenwirkung zu  $f$ ) unverrückbar feststellen lässt.

Durch diese zwei Bewegungen des Bretts wird die zu  $d\ o$  parallele Visirlinie  $a\ k$  auf den Gegenstand  $G$ , der beleuchtet werden soll, eingestellt. Der eine Punkt  $a$  dieser Linie ist durch eine kreisförmige Durchbrechung des Spiegels, welche sich von der geschwärzten Fassung des Rückens gegen die Vorderseite des Glases conisch erweitert, der andere Punkt durch ein in der bei  $o$  aufgestellten, inwendig ebenfalls geschwärzten Röhre befindliches Fadenkreuz  $k$  gegeben. Diese Röhre kann mit einem auf der Innenseite versilberten Deckel (welcher in der Figur geöffnet ist), geschlossen werden. Der Spiegel lässt sich um die horizontale Axe  $e\ e'$  mittels des zwischen  $a$  und  $y$  sichtbaren Quadranten grob und mit der Schraube  $y$  fein drehen. Die grobe Drehung ist möglich, wenn die Schraube  $y$  und die unter ihr liegende Feder so weit abwärts gedrückt wird, als nöthig ist, die Zähne des Quadranten von dem Schraubengewinde frei zu machen; die feine Drehung erfolgt durch die Schraube  $y$ , sobald Zähne und Gewind in einander greifen. In ähnlicher Weise operirt man mit einer zweiten horizontal liegenden gezahnten Kreisscheibe, in welche die Schraube  $z$  eingreift, um den Spiegel um eine durch  $a$  gehende verticale Axe im horizontalen Sinne zu bewegen.

Will man das in der Richtung  $S\ a$  kommende Sonnenlicht dem Gegenstande  $G$  zusenden, so stelle man erst das Heliotrop centrisch auf, d. h. man bringe die Schraube  $g$  in  $b\ b'$  über den Stationspunkt. Dann richte man, das Auge hinter dem Spiegel in  $F$ , die Visirlinie  $a\ k$  auf  $G$  und stelle das Brett mit der Schraube  $g$  fest. Weiter schliesse man jetzt den Deckel bei  $k$  und bewege den Spiegel horizontal und vertical, bis dieser Deckel

ganz hell gesehen wird, mit Ausnahme der mittleren Stelle, welche kein gespiegeltes Licht empfängt und daher dunkel erscheint. Der Spiegel muss durch feine Drehungen so weit gebracht werden, dass der Mittelpunkt der dunklen Kreisfläche den Fadenkreuzpunkt deckt. Sobald dieses der Fall ist, öffnet man den Deckel und der Beobachter in G erhält Sonnenlicht von der Station F aus. Da sich der Stand der Sonne fortwährend ändert, so muss selbstverständlich der Spiegel stetig gedreht werden, um die Deckung der Schattenscheibe und des Fadenkreuzes unverändert zu erhalten.

Das eben beschriebene Heliotrop gestattet zwar ein leichteres Einstellen als das Steinheil'sche, hat aber ausserdem wohl nichts vor diesem voraus, dessen compendiöse Form vielmehr stets als eine sehr werthvolle Eigenschaft anerkannt werden wird.

### Das Heliotrop von Reitz.

§. 105. **Einrichtung und Gebrauch.** Das von F. H. Reitz in Hamburg construirte, für Preussen patentirte und der mathematischen Werkstätte von Dennert und Pape in Altona zur Ausführung übertragene Heliotrop beruht auf dem Grundgedanken des Gauss'schen und ist gewissermassen eine Vereinfachung des Stierlin'schen Hilfsheliotropen. Seine Prüfung und Berichtigung ist leicht auszuführen und hierin, sowie in dem geringen Preise liegt sein Vorzug.

Die beigedruckte Fig. 126 stellt das Reitz'sche Heliotrop in dem dritten Theile der natürlichen Grösse vor. Es wird mittels der Hülse A an die Objectivfassung eines Fernrohrs angeschraubt. Der Spiegel A ist gegen das Objectiv des letzteren gerichtet und entspricht dem kleinen Spiegel des Gauss'schen Instruments, der Spiegel B wendet sich dem entfernten Signale, das Licht empfangen soll, zu, und hat die Aufgabe des grossen Gauss'schen Spiegels. Der kleine Spiegel A erfüllt seinen Zweck nur, wenn er senkrecht zur Visirlinie des Fernrohrs steht, und diese Stellung kann ihm durch die Correctionsschraubchen b und c gegeben werden. Der grosse Spiegel B lässt sich, da er um zwei auf einander senkrechte, durch den Mittelpunkt eines vom Beleg befreiten Scheibchens a gehende Axen (d und e) gedreht werden kann, in jede Lage bringen und demnach leicht so stellen, dass er das Sonnenlicht zunächst auf A zurückwirft und hierauf über A hinweg nach der entfernten Station, wenn das von A reflectirte Sonnenbild auf dem Fadenkreuze des Fernrohrs erscheint. Diese Einstellung wird durch entsprechende Drehungen des grossen Spiegels um die Axen d und e bewirkt, und es ist aus dem Reflexionsgesetze des Lichts sofort einzusehen,

Fig. 126.

dass der kleine Spiegel A das Sonnenbild nur dann nach der optischen Fernrohraxe zurückstrahlt, wenn er es parallel mit dieser Axe vom grossen Spiegel B empfängt. Hat man nun vorher das Fernrohr auf das entfernte Signal eingestellt, so empfängt dieses jetzt das Heliotropenlicht.

Um das Reitz'sche Heliotrop zu berichtigen, richtet man das Fernrohr auf einen etwa 10 Meter entfernten Gegenstand und dreht den Spiegel B so, dass das von ihm erzeugte Sonnenbild auf diesen Gegenstand fällt. Hierauf stellt man das Ocular durch Verschieben seiner Röhre auf unendliche Entfernung ein, d. h. man gibt ihm eine solche Lage, dass das Fadenkreuz mit der Bildebene eines unendlich entfernten Gegenstands zusammenfällt. (Diese Stellung hat man schon vorher an der Ocularröhre markirt). Zum Schutze der Augen wird ein am vorderen Ende des Fernrohrs angebrachtes Sonnenglas vor das Ocular geschoben und das vom Spiegel A reflectirte Bild beobachtet. Liegt dieses nicht oder nicht völlig im Gesichtsfelde des Fernrohrs, so kann es durch Drehung des Spiegels A mittels der Schraubchen b und c dahin gebracht werden. Sobald diese Stellung stattfindet, erscheint auch das vom kleinen Spiegel erzeugte Bild des Fadenkreuzes im genannten Gesichtsfelde, und es kommt nur mehr darauf an, durch die Schraubchen b und c dieses Bild und das wirkliche Fadenkreuz zu vereinigen. Mit dem Eintritte dieser Vereinigung ist die Berichtigung vollendet. (Ein vollständiges Reitz'sches Heliotrop ohne Horizontalkreis kostet bei Dennert und Pape in Altona 360 Mark, mit Horizontalkreis 420 Mark, ein Hilfsheliotrop für ein Fernrohr von bestimmter Grösse der Objectivfassung 66 Mark, und für Fernrohre von verschiedener Grösse 78 Mark).

### Das Heliotropenlicht.

§. 106. General Baeyer beschreibt die Erscheinungen, welche das Heliotropenlicht in grossen Entfernungen darbietet, in dem Werke: „Nivellement zwischen Swinemünde und Berlin“ folgendermassen:

In den nächsten Stunden am Mittage ist es sehr gross, blass, verwaschen, oft 30 bis 40 Secunden im Durchmesser haltend und in einer starken hüpfenden Bewegung. Zuweilen ist sogar die Zerstreuung durch die ungleichen Bewegungen der Luft so stark, dass keine Spur des Lichts zu entdecken ist, selbst wenn man die Richtung sehr genau kennt; etwas später wird dann ein grosser matter Lichtschein sichtbar, der allmählich an Helligkeit zu- und an Ausdehnung abnimmt. Dieser Lichtschein erhält nach und nach die Gestalt einer Scheibe von 10 bis 15 Secunden Durchmesser, die hüpfende Bewegung geht in eine zitternde über und wird endlich so gering, dass man die Scheibe schon mit ziemlicher Sicherheit beobachten kann. Dieser Zustand tritt bald früher, bald später, in der Regel zwischen 4 und 5 Uhr ein. Die Lichtscheibe wird näher am Abende immer kleiner und ruhiger und geht einige Stunden vor Sonnenuntergang in einen kleinen,





trumente zum Winkelmessen.

in eine Nachricht angemeldet und ihre Annahme  
ng (1) machen, so verdeckt man den Spiegel  
ihn dann 30 Secunden lang frei und verdeckt  
Lichtblick von 30 Secunden Dauer stellt somit  
ein Dunkel von 30 Secunden getrennte Licht-  
m, bedeuten die Zahl 2; drei solche Lichtblicke

standen worden sei, wird dadurch angedeutet,  
nn sie bejaht werden soll, wie z. B. (2) durch  
und dass man sie durch eine andere Zahl be-  
bejaht werden kann, wie z. B. (4) durch (8),

## itter Abschnitt.

nte zum Winkelmessen.

elche durch Messinstrumente aufgenommen oder  
werden, können verschiedene Lagen gegen loth-  
Ebenen haben. Nach dieser Lage werden sie

enkel in einer wagrechten Ebene liegen, heisst  
(Horizontalwinkel); liegen seine Schenkel in  
nennt man ihn einen lothrechten Winkel  
seine beiden Schenkel in einer Ebene, die weder  
heisst er ein schiefer Winkel. Jeder dieser  
pitzer, stumpfer oder erhabener Winkel sein.  
inkel einen wagrechten Schenkel, so heisst er  
inkel (Elevationswinkel), wenn der zweite  
liegt, und ein Tiefenwinkel (Depressions-  
Schenkel unter dem ersten liegt. Ist aber ein  
Winkels selbst lothrecht, so kann man einen  
thwinkel<sup>1</sup> nennen.

umenden oder abzusteckenden Winkel entweder  
men oder durch Zeichnung darstellen. Je nach-  
els auf diese oder jene Art ausgedrückt werden  
in Instrumente wesentlich verschieden. Es lässt

<sup>1</sup> »Zenithdistanz« gebräuchlich; aber diese Bezeichnung ist  
r unter dem Ausdrucke »Distanz« einen Kreisbogen zu denken  
en Schenkels gegen das Loth misst, während man sonst unter  
eg zwischen zwei Punkten versteht.

sich deshalb hierauf eine Eintheilung der Winkelmesser gründen. Einen anderen Eintheilungsgrund gibt der Umstand ab, ob es nöthig ist, beide Winkelschenkel anzuvisiren oder nur einen. Wir ziehen die erstere Eintheilungsart vor, weil sie die für einen bestimmten Zweck gebotenen Mittel besser überschauen lässt als die zweite, finden es jedoch für nöthig, drei statt zwei Abtheilungen zu machen, um die Werkzeuge, welche nur gewisse unveränderliche Winkel angeben, von denen zu trennen, welche jeden beliebigen Winkel darstellen.

#### A. Instrumente zur Absteckung von unveränderlichen Winkeln.

##### Das Winkelkreuz.

§. 109. Die einfachste Vorrichtung zur Absteckung eines rechten Winkels (welche aber fast gar keine Anwendung mehr findet) besteht in der Verbindung eines mit zwei Dioptern versehenen rechtwinkligen Kreuzes mit einem Stocke, der als Gestell dient (Fig. 127). Die Visirebenen der Diopter

Fig. 127.

stehen senkrecht zu einander und in ihrer Schnittlinie liegt die Axe des Stocks. Das Kreuz kann aus Holz oder Metall bestehen, in jedem Falle aber muss es sich mit einer Hülse rechtwinklig auf das Gestell befestigen lassen, sobald es gebraucht wird. Die Diopter haben irgend eine der in §. 26 beschriebenen Einrichtungen: hier sind sie nach Fig. 5 gebildet, mit dem Unterschiede, dass die Oculare aus je drei kleinen runden Oeffnungen bestehen, welche in einer mit dem Objectivfaden parallelen Geraden liegen. Diese Geraden und folglich auch die durch sie bestimmten Visirebenen sind lothrecht, sobald die Ebene des Kreuzes wagrecht oder der tragende Stock

lothrecht ist. Bei der Absteckung eines rechten Winkels kommt es immer darauf an, den Stock lothrecht zu halten. Ist das Auge für diese Stellung noch nicht hinreichend geübt, so kann man sie mit einem unter dem Kreuze angehängten Senkel herstellen.

Soll mit diesem Winkelkreuze auf eine gegebene Richtung eine Senkrechte abgesteckt werden, so stelle man den Stock in dem gegebenen oder angenommenen Fusspunkte der Senkrechten lothrecht auf, drehe das Kreuz mit dem Stocke so, dass eine Abschlinie (a b) in die gegebene Richtung fällt und richte hierauf in die zweite Abschlinie (c d) einen Stab (e) ein, so bezeichnet dieser und der Stock des Winkelkreuzes die gesuchte Senkrechte, vorausgesetzt, dass das Werkzeug fehlerfrei ist, d. h. wirklich senkrecht gegen einander stehende Visirebenen hat.

Um sich hievon zu überzeugen, darf man nur, nachdem die Absteckung des Stabs e durch die Visirebene c d vollzogen ist, diese Ebene in die gegebene Richtung drehen und zusehen, ob der Stab e auch in der Visirebene b a steht. Ist dieses der Fall, so steht offenbar a b senkrecht auf c d, weil die Nebenwinkel, welche die Visirebene c d mit a b erzeugt, einander gleich sind. Läge bei der zweiten Stellung der Stab e nicht in der Visirebene b a, so müsste der Faden a so weit seitwärts geschoben werden, bis die genannten Nebenwinkel einander gleich würden.

Fig. 128.

### Die Winkeltrommel.

§. 110. Vier Seiten der Trommel (Fig. 128), wovon je zwei parallel sind und jedes Paar auf dem anderen senkrecht steht, haben Diop-  
ter, deren Oculare und Objective beide aus Ritzen (wie A und B) bestehen, während auf jeder der übrigen vier Seiten gleichzeitig eine Ritze (C, C') als Ocular und ein ausgespanntes Pferdehaar (D, D') als Objectiv dient, wobei sich von selbst versteht, dass nur die auf parallelen Seiten befindlichen Oculare und Objective zusammengehören. Die Visirebenen A B, A' B' und ebenso C D, C' D' stehen unter sich senkrecht gegen einander und schneiden sich in der Axe der Trommel, welche auch die Axe der Hülse H und des in sie zu steckenden Stocks ist. Dagegen bilden die Visirebenen A B und C D oder A B und C' D' u. s. w. mit einander Winkel von 45 Grad. Man kann folglich mit der Winkel-  
trommel gerade so wie mit dem Winkelkreuze ganze und halbe rechte Winkel abstecken, und das Verfahren, welches man bei der Prüfung des

Instrumente zu befolgen hat, ist ebenfalls dem im vorigen Paragraphen angegebenen gleich.

### Der Winkelspiegel.

§. 111. Seit Erfindung des Winkelspiegels,<sup>1</sup> welche mit der des Spiegelsextanten zusammenhängt und in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts von dem Optiker Adams in London gemacht wurde, sind die Winkelkreuze und Trommeln wenig mehr im Gebrauche. Denn der Winkelspiegel bedarf keines Stocks als Gestell und er liefert eine senkrechte Richtung durch einmaliges Visiren, wozu ein einziger Augenblick der Ruhe hinreicht.

Fig. 128 a.

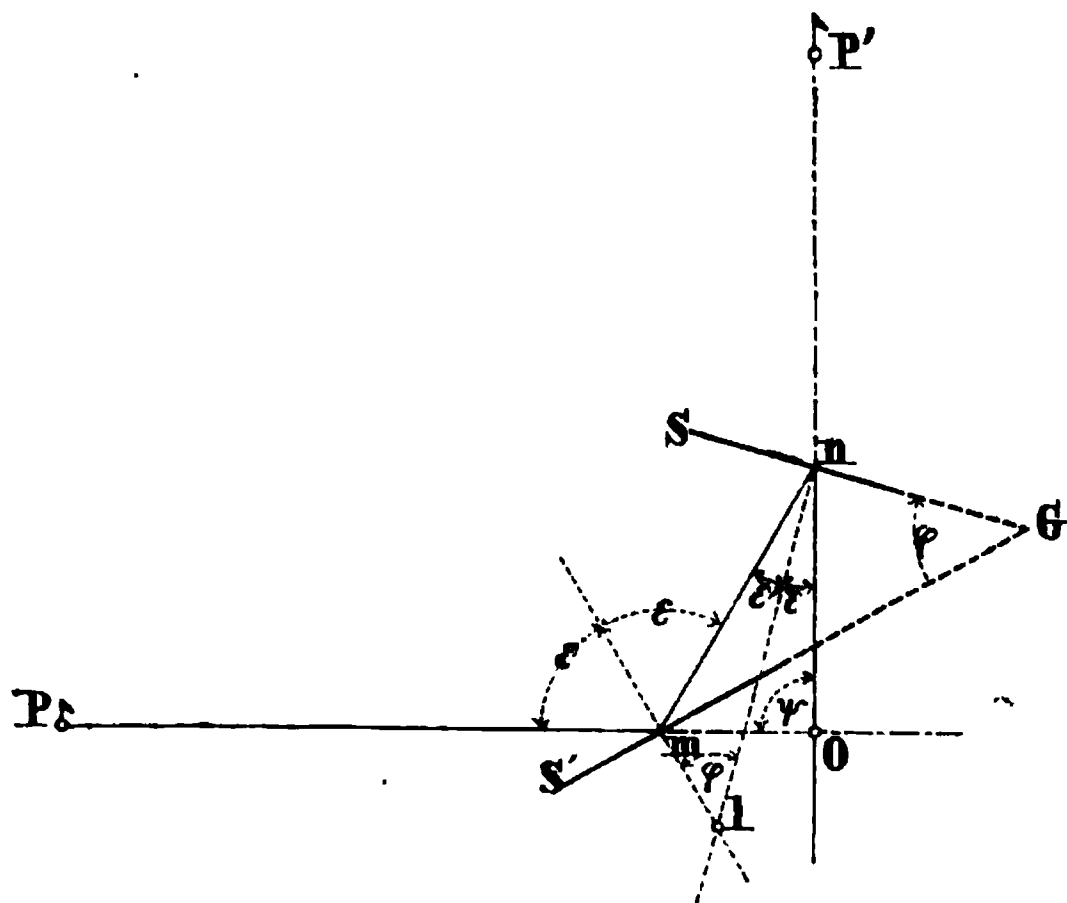
Die beige gedruckte Figur zeigt den Winkelspiegel in natürlicher Grösse. In einem offenen prismatischen Messinggehäuse (ABC), mit zwei fensterartigen Oeffnungen (F, F') und einem senkrechten Griffe an der unteren Fläche, befinden sich zwei ebene Glasspiegel (S und S'), welche auf der Grundfläche (C) des Gehäuses senkrecht stehen und einen Winkel von  $45^{\circ}$  mit einander bilden. Jeder dieser Spiegel ist in starkes Messingblech gefasst und beide Fassungen sind mit einander durch eine Feder (G), welche an der Rückwand des Gehäuses befestigt ist, verbunden. Während der eine Spiegel (S) unverrückbar feststeht, kann der andere (S') durch die Stellschraubchen a und b, welche auf seine Fassung wirken, so weit gedreht werden, als nöthig ist, um ihm die vorgeschriebene Neigung von  $45^{\circ}$  gegen den ersten Spiegel zu geben, wenn er sie zeitweise nicht haben sollte. Von diesen zwei Schraubchen sitzt das eine (a) auf der Gehäuswand BC auf und greift mit seiner Spindel in ein Gewind in der Fassung des Spiegels S' ein, während das andere (b) mit seinem Kopfe von der Gehäuswand absteht und mit seinem Fusse auf die Spiegelfassung bloss

<sup>1</sup> Diese Erfindung ist eigentlich nur eine Anwendung des allgemeinen Princip's, welches dem Spiegelsextanten zu Grunde liegt, auf einen besonderen Fall.

drückt, aber nicht in sie eingreift. Man sieht sofort ein, dass, wenn man a zurück und b vorwärts dreht, der Winkel der Spiegel kleiner, und umgekehrt, wenn man b zurück und a vorwärts dreht, dieser Winkel grösser wird.

§. 112. Theorie. Stellen G S und G S' (Fig. 129) zwei auf einer Ebene senkrecht stehende und unter einem Winkel  $S G S' = \varphi$  gegen einander

Fig. 129.



geneigte Planspiegel vor, und trifft auf einen von ihnen (hier S' G) das von einem leuchtenden Punkte P ausgehende Licht in einer Richtung P m (die wir uns mit der Ebene, worauf die Spiegel stehen, parallel denken), so wird es unter dem Winkel  $\epsilon$ , mit dem es gegen das Loth in m fällt, in der Richtung m n auf den zweiten Spiegel zurückgestrahlt. Bildet es daselbst mit dem Lothe den Winkel  $\epsilon'$ , so geht es in der Richtung n O, welche mit

diesem Lothe den Winkel  $\epsilon'$  macht, zurück, und ein Auge in O erblickt den Punkt P nach der Richtung O n in P' abgebildet. Da für das Dreieck m n l der Aussenwinkel  $\epsilon = \varphi + \epsilon'$  und für das Dreieck m O n der Aussenwinkel  $2\epsilon = \psi + 2\epsilon'$ , so folgt aus diesen beiden Gleichungen, wenn die erste mit 2 multiplicirt wird:

$$\psi = 2\varphi \quad (84)$$

d. h. der einfallende Strahl bildet mit dem zweimal zurückgeworfenen einen doppelt so grossen Winkel als die auf einer Ebene senkrecht stehenden Planspiegel, von welchen die Zurückwerfung ausgeht.

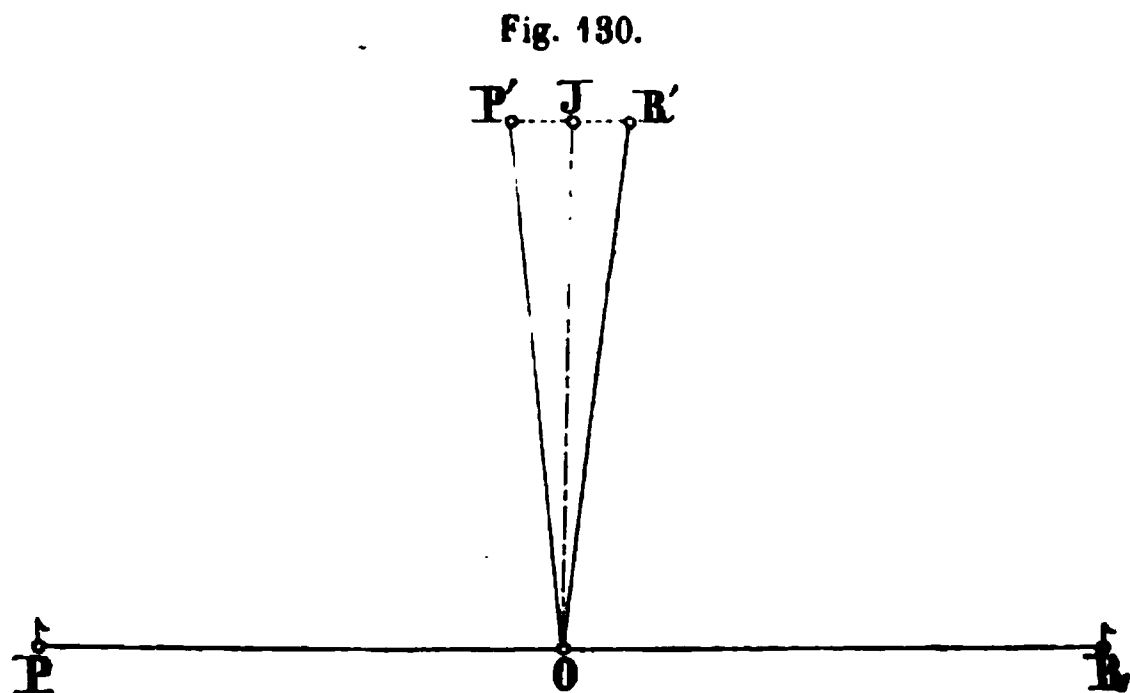
Dabei ist jedoch vorausgesetzt, dass die eintretenden Lichtstrahlen mit der Ebene, worauf die Spiegel stehen, parallel sind. Wären sie es nicht, so könnten auch die austretenden Strahlen mit der Grundebene nicht parallel sein, wie eine einfache geometrische Betrachtung lehrt, die sich auf das Grundgesetz der Katoptrik stützt. Dann würde aber auch nicht mehr der Winkel der ein- und austretenden Strahlen selbst, sondern der ihrer senkrechten Projectionen auf die Grundebene in der durch die Gleichung (84) ausgedrückten Beziehung zu dem Winkel der Spiegel stehen.

Soll nun, unter der ursprünglichen Annahme paralleler Strahlen, der Winkel  $\psi$  ein rechter sein, so muss nach dem eben ausgesprochenen Satze nothwendig  $\varphi = 45^\circ$  sein. Ist der Winkel  $\varphi > 45^\circ$ , so wird  $\psi > 90^\circ$ , und umgekehrt wird  $\psi < 90^\circ$ , wenn  $\varphi < 45^\circ$  ist.

§. 113. **Gebrauch.** Soll mit einem Winkelspiegel, den wir uns jetzt fehlerfrei denken, auf eine gegebene gerade Linie ( $P O$ ) in einem gegebenen Punkte ( $O$ ) derselben eine Senkrechte ( $O P'$ ) abgesteckt werden, so halte man lothrecht über dem gegebenen Punkte den Winkelspiegel so, dass von dem Stabe  $P$  Licht auf den einen ihm zugewandten Spiegel ( $G S'$ ) fallen kann und sehe mit dem Auge, das sich bei  $O$  vor der Gehäuswand  $B C$  des Winkelspiegels befindet, durch die Oeffnung  $F'$  gleichzeitig in den Spiegel  $G S$  und durch die zweite Oeffnung nach dem Stabe  $P'$ , welchen ein Gehilfe in entsprechender Entfernung von  $O$  mit ausgestrecktem Arme lothrecht zwischen den Fingern hält, des Winks gewärtig, den man ihm mit der Hand gibt, um den Stab in die Richtung zu bringen, in welcher sich das Bild von  $P$  zeigt. Erscheint endlich der Stab  $P'$  als die Fortsetzung des Bilds von  $P$  (d. h. stehen beide in gerader lothrechter Richtung), so ist die Aufgabe gelöst und  $P O P'$  ein rechter Winkel.

§. 114. **Prüfung und Berichtigung.** Um zu untersuchen, ob ein Winkelspiegel seinem Zwecke genügend entspricht, stelle man drei Stäbe

( $P, O, R$ ) in eine gerade Linie, die äusseren vom mittleren etwa 30 Meter entfernt. Alsdann stecke man nach dem vorigen Paragraphen auf die Richtung  $P O$  die Gerade  $O P'$  und auf  $O R$  die Gerade  $O R'$  senkrecht ab. Fallen diese zwei Geraden in eine einzige Richtung zusammen, so ist der Winkel-



spiegel offenbar richtig, weil er in jedem Falle einen Winkel ( $P O P'$  und  $R O R'$ ) lieferte, der einen gleichen Nebenwinkel hat, also selbst ein rechter ist. Liegen dagegen  $O P'$  und  $O R'$  in verschiedenen Richtungen, so können zwei Fälle eintreten: entweder liegt nämlich das Bild von  $P$  auf der Seite des Stabs  $P$  und das von  $R$  auf der Seite des Stabs  $R$ ; oder aber es liegt das Bild von  $P$  auf der Seite von  $R$ , und das von  $R$  auf der Seite von  $P$ . In dem ersten Falle liefert der Winkelspiegel spitze Winkel ( $P O P'$  und  $R O R'$ ), und in dem zweiten Falle stumpfe Winkel ( $P O R'$  und  $R O P'$ ) statt rechte: es ist folglich auch in dem einen Falle der Winkel der beiden Spiegel kleiner als  $45^\circ$  und in dem anderen Falle grösser als  $45^\circ$ , und daher, je nachdem der erste oder zweite Fall eintritt, durch die Schraubchen  $a$  und  $b$  nach Anleitung des §. 111 grösser oder kleiner zu machen, und zwar so lange fort, bis die Richtungen  $O P'$  und  $O R'$ , welche er angibt, in eine einzige ( $O J$ ) zusammenfallen.

## Die Winkelpriemen.

§. 115. Zur Absteckung rechter Winkel kann man sich statt des Winkelspiegels eines senkrechten Glaspriemas bedienen, dessen Grundfläche entweder ein gleichschenkeliges rechtwinkliges Dreieck oder ein Viereck von der Form der Camera lucida, oder auch ein Fünfeck von der in Fig. 14 dargestellten Form ist. Wir wollen jedes dieser Prismen, da es nach zweimaliger Brechung und zwei- oder mehrmaliger innerer Reflexion den Weg der Lichtstrahlen um einen constanten, hier um einen rechten Winkel verändert, ein Winkelpriema nennen und nach der Anzahl seiner Seiten unterscheiden.<sup>1</sup>

1) Das dreiseitige Winkelpriema (Fig. 131) erfüllt den ausgesprochenen Zweck, nachdem es mit einer Fassung (Fig. 132) versehen ist,

Fig. 131.

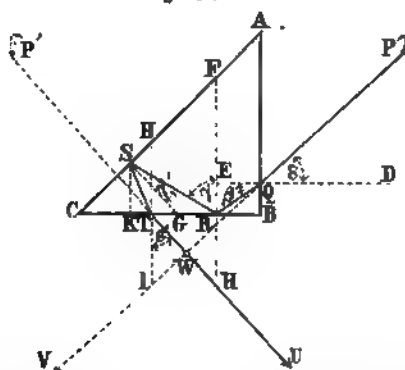


Fig. 132.

welche die Hypotenusenebene A C blendet und ein bequemes Halten des Glases gestattet. Denkt man sich nämlich, dass P W die gegebene Richtung sei, worauf in dem Punkte W eine Senkrechte W P' abgesteckt werden soll, so halte man über dem Punkte W das Priema so, dass auf eine seiner Kathetenebenen (A B) Licht von dem Stabe P trifft. Dieses Licht wird den Weg P Q R S T W machen und dem in W befindlichen Auge das Bild des Stabs P in P' zeigen. Aus §. 33 und Gleichung (10) weiss man aber, dass der Winkel U W V, unter welchem sich die zwei Richtungen P W und W P' schneiden, gerade  $90^\circ$  beträgt: richtet man daher, gleichzeitig in und über das Priema schauend, in die letztgenannte Richtung einen Stab so ein, dass dieser und das Bild von P sich decken, so ist P' W P ein rechter Winkel, wie verlangt war.

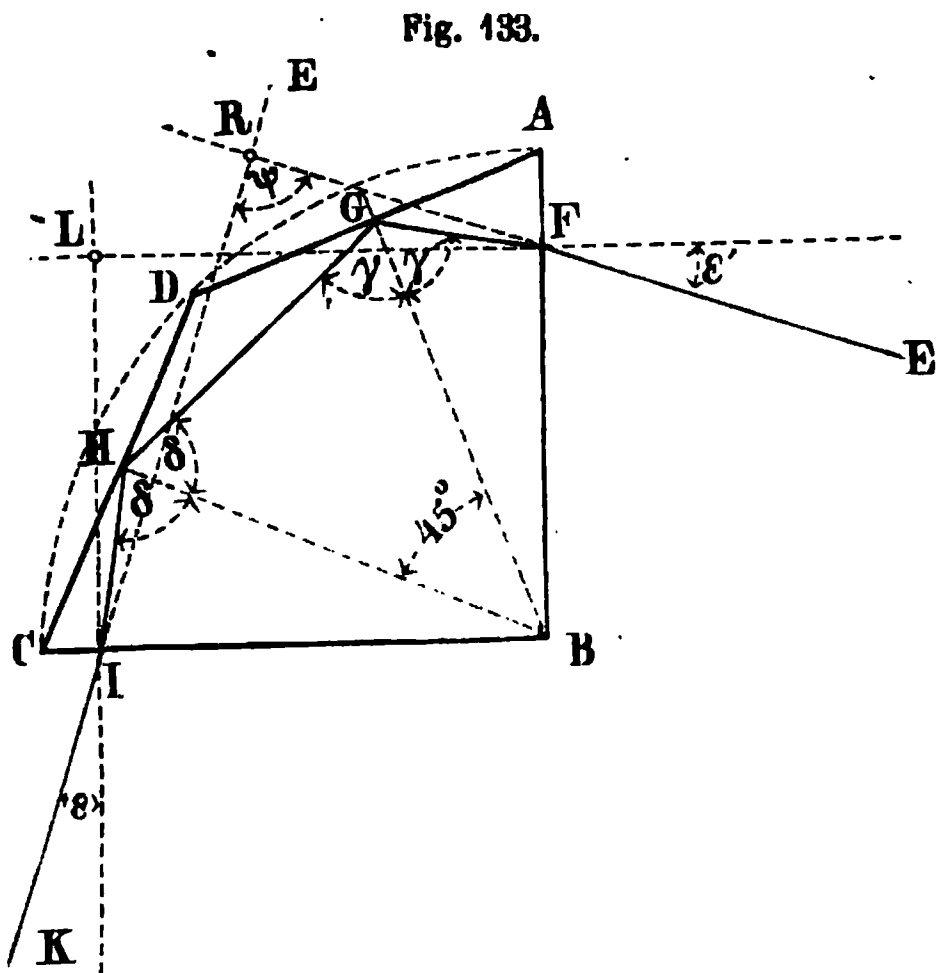
<sup>1</sup> Verschiedene Lehrbücher veranlassen den Verfasser zu der Bemerkung, dass Er es war, der zuerst die Eigenschaft des gleichschenkelig rechtwinkligen Prismas, zur Absteckung rechter Winkel zu dienen, entdeckte und das distanzmessende Priema, welches in Figur 132 abgebildet und auf Seite 167 unter Nr. 4 des I. und Seite 90 unter Nr. 7 des II. Bands beschrieben ist, erfand (1851). Ertel u. Sohn in München haben diesem distanzmessenden Priema nur die in Fig. 132 gezeichnete Fassung gegeben (1865), woraus wohl nicht folgt, dass etc es »construirt« haben, wie Herr R. v. Büdgisch in seiner »Niederer Vermessungskunst«, Cassel 1875, Seite 187 u. 212, ohne Grund annimmt.



Wenn die von P kommenden Lichtstrahlen so auf das Prisma treffen, dass sie auf ihrem Wege durch dasselbe nur einmal und zwar von der Hypotenusenebene A C zurückgestrahlt werden, so ist der Winkel, welchen die Richtungen der ein- und austretenden Strahlen mit einander bilden, nach den Gleichungen 8 und 9 um den doppelten Einfallswinkel ( $\varepsilon$ ) kleiner oder grösser als  $90^\circ$ , mithin einem rechten Winkel nur in dem Falle gleich, wo der Einfallswinkel  $\varepsilon = 0$  ist. Man wird daher im Allgemeinen zwei Bilder von P in dem Prisma erblicken; es ist aber leicht, beide von einander zu unterscheiden: dasjenige nämlich, welches durch einmalige Zurückstrahlung erzeugt wird und dem Winkel  $90^\circ \pm 2\varepsilon$  angehört, verändert seine Lage, sobald man das Prisma mit dem Griffe um seine Axe dreht, während das durch zweimalige Reflexion entstandene bei dieser Drehung ruhig stehen bleibt, indem seine Lage von der Grösse des Einfallswinkels  $\varepsilon$  ganz unabhängig ist. Auch ist das letztere Bild, welches bei der Absteckung eines rechten Winkels benützt werden muss, weniger hell als das erstere, weil bei der Zurückstrahlung von der Kathetenebene B C und von der Hypotenusenebene, wenn letztere nicht spiegelartig belegt ist, einiges Licht verloren geht. Die geringere Helligkeit und die Unbeweglichkeit des Bilds sind sichere Anhaltspunkte zur schnellen Auffindung desselben: übrigens wollen wir noch die Bemerkung beifügen, dass man dieses Bild nur am Ende der Kathetenebene (hier bei C) suchen darf, weil eine zweimalige Zurückwerfung des Lichts ein Austreten der Strahlen T U in der Mitte der Ebene B C unmöglich macht.

2) Das vierseitige Winkelprisma (Fig. 133) erfüllt in ähnlicher Weise wie das dreiseitige seinen Zweck, wenn es in einer mit einem Griffe versehenen, nach Fig. 132 oder nach Fig. 134 construirten Fassung liegt, welche seine schiefen Flächen A D und C D blendet.

Hätte man mit diesem Prisma auf die gegebene Richtung E R auf die gegebene Richtung E R in dem Punkte R eine Senkrechte (R E') abzustecken, so brauchte man nur über dem Punkte R das Prisma mit einer der Kathetenebenen (hier A B) gegen den in E befindlichen Stab zu halten und mit dem Auge bei K in das Prisma zu sehen. Dort wird man in der Richtung K I R, welche nach §. 34 und Gleichung (11) auf der gegebenen Richtung E R senkrecht ist, ein Bild E' des Stabs E erblicken. Richtet man einen Stab E'' so ein, dass er das Bild E' deckt, wobei man gleichzeitig in und über das







welche alsdann in die Vertiefung bei B einfällt, hält den Bügel geschlossen. An die Deckplättchen lassen sich übrigens auch, wenn man es vorzieht, massive oder hohle Griffe anschrauben, oder vielmehr ein und derselbe Griff kann nach Erforderniss bald auf der einen, bald auf der anderen Deckfläche befestigt werden.

5) Dass mit den vier- und fünfseitigen Prismen auch noch Winkel von  $45^\circ$  und von  $180^\circ$  abgesteckt werden können, geht aus §. 34 und §. 35 hervor, und dass alle hier beschriebenen Prismen, wenn sie einmal richtig geschliffen sind, keine Correction nöthig haben, bedarf kaum der Erwähnung. Schliesslich sei nur noch darauf hingewiesen, dass, wer eines der nachfolgend beschriebenen Prismenkreuze besitzt, auch über zwei dreiseitige Winkelprismen zur Absteckung rechter Winkel verfügt.

### Das Prismenkreuz.

§. 116. Durch die vorher betrachteten Winkelprismen kann ein rechter (oder anderer constanter) Winkel mit hinreichender Genauigkeit und Bequemlichkeit abgesteckt werden; der practische Geometer hat aber auch sehr oft Winkel von  $180^\circ$  abzustecken. Dieses ist der Fall, wenn er zwischen zwei gegebenen Punkten einen dritten in gerader Linie einschalten oder den Durchschnittspunkt zweier Diagonalen eines Vierecks auf dem Felde suchen soll. Er kann zwar diese Aufgabe in der Regel mit Fluchtstäben und einem oder zwei Gehilfen lösen; aber die Lösung auf diesem Wege ist unter allen Umständen weitläufig, manchmal unsicher, in einzelnen Fällen unmöglich.

Diese Erwägung gab dem Verfasser vor mehreren Jahren Veranlassung zur Erfindung des Prismenkreuzes,<sup>1</sup> eines einfachen Instrumentchens, das der Hauptsache nach aus zwei Glasprismen besteht, deren Grundflächen gleichseitige rechtwinklige Dreiecke sind und welche so aufeinander liegen, dass ihre Hypotenusenebenen sich senkrecht kreuzen, während die Kathetenebenen und die Axen mit einander parallel sind. Mit diesem Prismenkreuze kann man nicht allein Winkel von  $180^\circ$  auf die einfachste Weise und ohne Zuziehung von Gehilfen, sondern auch rechte Winkel abstecken, indem jedes der Prismen für sich ein dreiseitiges Winkelprisma ist (§. 115). Für geometrische Terrainstudien, flüchtige Aufnahmen, Messungen auf breiten Flüssen u. dgl. bietet es dem einfachen und doppelten Winkelspiegel gegenüber entschiedene Vorthelle, wofür am besten seine grosse Verbreitung spricht.

§. 117. Theorie. Um unsere Betrachtung etwas allgemeiner zu machen, nehmen wir vorläufig an, dass zwar die Axen der Prismen, aber nicht ihre Kathetenebenen parallel sind. Diese sollen vielmehr einen Winkel  $CGB' = \delta$  mit einander bilden und dadurch Veranlassung sein, dass die Hypotenusenebenen sich unter einem Winkel  $AF A' = 90^\circ + \delta$  kreuzen.

<sup>1</sup> »Theorie und Gebrauch des Prismenkreuzes von C. M. Bauernfeind.« München, 1861.



steht: die Bilder  $M'$  und  $N'$  werden gegen die Stäbe  $M$  und  $N$  in einem Falle so liegen, wie in Fig. 136, d. h.  $N'$  auf der Seite von  $N$  und  $M'$  auf der Seite von  $M$ , und in dem anderen Falle wird sich  $M'$  auf der Seite von  $N$  und  $N'$  auf der Seite von  $M$  befinden. Da die Deckung der Bilder nur dann eintritt, wenn man das Prismenkreuz in die Gerade  $MN$  bringt, so ist dieses folglich ein Mittel, einen Punkt ( $F$ ) in diese Gerade einzuschalten, ohne irgend eine Beihilfe.

§. 118. **Beschreibung.** Fig. 138 gibt eine perspectivische Ansicht des Prismenkreuzes in seiner wirklichen Grösse. Das Gehäus der Gläser  $P$  und  $P'$  ist ein hohles Prisma mit einer trapezförmigen Grundfläche, wie sie Fig. 137 zeigt, die auch die Lage der Prismen deutlich macht. Die Kathetenflächen  $P e$ ,  $P' e'$  der beiden Prismen liegen in einer Ebene, welche wir die

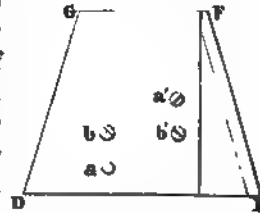
Fig. 138

Fig. 139.

Ocularebene nennen wollen, da durch sie die Bilder angeschaut werden. Die anderen Kathetenflächen liegen auf entgegengesetzten Seiten des Gehäuses und sind parallel: sie empfangen das von den seitwärts stehenden Stäben ( $M$ ,  $N$ ) ausgehende Licht und können daher die Objectivebenen der Prismen heissen. Nach der Grösse einer solchen Ebene ist das Gehäus ausgeschnitten, damit das Licht in das entsprechende Prisma gelangen kann: links oben, rechts unten. Die Hypotenusenebenen werden zur Vermehrung der Helligkeit des Bilds, das zur Absteckung rechter Winkel dient, entweder wie gewöhnliche Spiegel belegt oder nach der Liebig'schen Methode versilbert. Um die Prismen parallel zu stellen, dienen die 4 Stellschraubchen  $a$ ,  $a'$  und  $b$ ,  $b'$ , deren Wirkungsweise sich mit Hilfe des obenstehenden Durchschnits Fig. 139 (nach der Linie  $mn$  in Fig. 137) leicht erklärt. Das obere Prisma ( $A'$ ) ist nämlich an der Fassung  $d e$ , welche

sich um den Punkt  $o$  ein wenig drehen kann, festgekittet. Durch die Schraubchen  $a$  und  $a'$ , welche durch Schlitz in der Gehäusplatte  $D G$  gehen und in die Fassung  $d e$  eingreifen, lässt sich das obere Prisma so viel drehen als nöthig ist, um die Kathetenebenen parallel zu machen, nachdem vorher mit Hilfe der Schraubchen  $b$  und  $b'$ , die bloss auf die Platte  $d e$  drücken, die Axen der Prismen parallel gestellt worden sind. Die gegenseitige Stellung der in Rede stehenden Schraubchen ergibt sich aus der Oberansicht der Gehäusplatte in der beigedruckten Fig. 140.

Fig. 140.

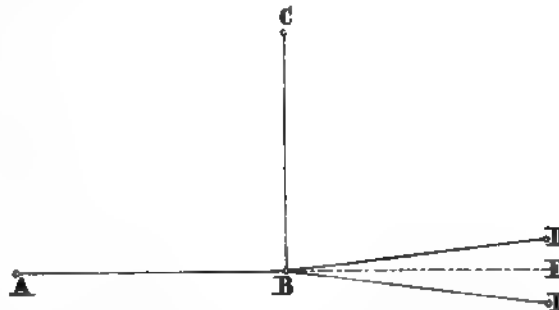


§. 119. Prüfung und Berichtigung. Die Prüfung des Prismenkreuzes umfasst folgende Untersuchungen:

- 1) ob jedes der Prismen richtig geschliffen ist;
- 2) ob die Prismenaxen parallel sind, und
- 3) ob die Kathetenflächen parallel sind und die Hypotenusenebenen senkrecht zu einander stehen.

Zu 1. Am einfachsten erfährt man, ob die Prismen richtig geschliffen sind, auf folgende Weise. Man stecke mit dem zu prüfenden Prisma nach §. 115 und Fig. 141 erst einen Winkel  $A B C$  und hierauf von  $B$  aus einen zweiten Winkel  $C B D$  ab. Findet man, dass die drei Stäbe  $A, B, D$  in gerader Linie liegen, so ist offenbar  $A B C = C B D = R$  und folglich das Prisma richtig; liegen aber die genannten drei Punkte nicht in einer Geraden, so ist das Prisma fehlerhaft und durch den Optiker zu verbessern.

Fig. 141



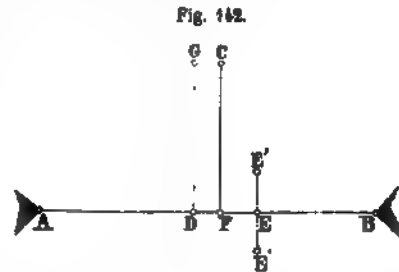
Zu 2. Um zu prüfen, ob die beiden Prismenaxen parallel sind, braucht man nur zwei parallele Gegenstände, z. B. lothrechte Stäbe, Mauerkanten, Blitzableiterstangen etc. durch die Ocularebenen zu betrachten und zuzusehen, ob auch die Bilder parallel sind oder nicht. Bilden dieselben einen Winkel mit einander, so ist der Unterschied desselben von  $180^\circ$  der Fehler, welcher in der Lage der Prismenaxen stattfindet und der durch die Schraubchen  $b, b'$  weggeschafft werden muss, nachdem zuvor die beiden anderen Schraubchen etwas gelüftet wurden. Ohne diese Lüftung könnte sich durch den Druck der Schraubchen  $b$  und  $b'$  die Fassung  $d e$  um den Punkt  $o$  nicht drehen. Von selbst versteht sich, dass von den Schraubchen  $b$  und  $b'$  das eine ebenfalls vorher zu lüften ist, wenn das andere vorwärts gedreht werden soll.

### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

ler Parallelstellung der Kathetenebenen überzeugt man drei Stäbe in ziemlich grossen Entfernungen in gerader Linie. Das Instrument über den mittleren Stab hält und zusieht, der beiden äusseren Stäbe decken. Ist dieses der Fall, er auch nicht aus einander, wenn man das Instrument an Standpunkte um seine Axe dreht, so sind die Kathetenebenen und die Hypotenusenebenen senkrecht zu einander; decken die Stäbe nicht, so sind auch die Kathetenebenen und die Hypotenusenebenen nicht senkrecht auf einander. Nach dem Winkel  $\varphi''$ , um welchen die Bilder aus einander gehen, den Fehler ( $\delta$ ) in der Lage der Prismen an, und es muss das Prisma um  $\frac{1}{2} \varphi''$  oder  $\delta$  durch die Schraubchen a und b gedreht werden.

In welchem Sinne die Drehung zu geschehen hat, hängt von der Lage der Bilder M' und N' auf Seite ihrer Gegenstände M und N ab. Es gibt zwei Fälle: in dem ersten Falle ist der Winkel AFA' kleiner als ein rechter Winkel und in dem zweiten Falle größer als ein rechter Winkel. In welchem Sinne das obere Prisma zu drehen ist, ergibt sich leicht, wenn man die Grösse dieses Winkels auf  $90^\circ$  zurückzuführen will.

**Fig. 142.** Soll ein Punkt E (Fig. 142) zwischen zwei gegebenen Punkten A und B, welche so liegen, dass man von einem zum andern in gerader Linie gehen kann, in gerader Linie gefunden werden, so stelle man ein Instrument mit zwei Prismenkreuzen in der Mitte auf dem Punkte E', der in der Mitte liegt, auf und halte es so, dass die beiden Kathetenebenen das Auge, die Hypotenusenebenen gegen A und B gerichtet sind. Darauf bewege man das Instrument vorwärts oder rückwärts, bis der Punkt E kommt, in welchem sich die Bilder von A und B decken; E ist dann der gesuchte Punkt, welchen man unter das Instrument zu stellenden Stab bezeichnet.



Wenn man einen gegebenen Punkt C ausserhalb einer gegebenen Geraden AB finden will, so richte man sich auf die Weise in die Gerade AB ein, drehe das Instrument um seine Axe, bis man in der spitzen Ecke (Fig. 138) eines Prismas das durch zweimalige Zurückstrahlung eines der Gegenstände A oder B erblickt, und bewege das Instrument auf der Geraden AB, bis dieses Bild mit dem durch das blosses Auge der Ecke e oder e' hinweg gesehenen Stabe C zusammenfällt. Diese Deckung eintritt, bezeichnet das Instrument selbst den gesuchten Punkt, welcher durch ein Loth oder einen Stab auf dem

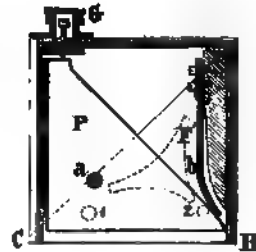




umente zum Winkelmessen.

den Weg  $e d c, b, a, N$ . Nach früher geliefer-  
 zohl der austretende Strahl  $a M$  als der  $a, N$   
 den  $e d$ ; umgekehrt also, wenn von zwei ge-  
 parallelen Richtungen  $Ma$  und  $Na$ , Licht auf  
 fällt, so tritt aus beiden das Licht nach einer  
 heraus, d. h. die Bilder  $M_1$  und  $N_1$  decken sich  
 $M_1 N_1$  welche auf der Geraden  $Na$  und  $Na_1$   
 ingen Grösse der Prismen im Vergleiche zu den  
 $M$  und  $N$  kann man annehmen, dass die  
 er Geraden  $M N$  zusammenfallen, und folglich  
 Fig. 143 construirten Prismenkreuze nicht bloss  
 Geraden  $M N$ , sondern zugleich auch den Fuss-

Fig. 146.



welche von  $P$  aus auf die Gerade  $M N$  zu  
 beweisen war.

144 und 145 dargestellten neueren Fassung ist  
 das untere Prisma  $P'$  ruht in dem Gehäuse auf  
 (Fig. 145) und ist daselbst durch drei Schraubchen  
 Anziehen und Nachlassen dieser Schraubchen  
 dem Sinne berichtigt, d. h. es kann seine Axe  
 parallel gestellt werden. Dieses zweite Prisma ist  
 ein Ring drückende Schraube  $a$ , welche in die  
 halten, jedoch nur so fest, dass es noch durch  
 kleine Schraubchen, dem die Stahlfeder  $b$  ent-  
 Sinne so weit gedreht werden kann, als nöthig  
 die Ebenen einander parallel und die Hypote-

auseinander senkrecht zu stellen. Diese Ebenen selbst sind versilbert und ausserdem noch durch die bei C und E sichtbaren Seitenwände des Gehäuses geblendet.

Je nachdem das Licht eines leuchtenden Punkts in das obere Prisma bei  $s$  oder  $s^0$  eintritt, ist das Bild desselben bei  $e$  oder  $e^0$  zu suchen (Fig. 144). Ähnliches gilt für das untere Prisma, wo die Bilder bei  $e'$  und  $e''$  erscheinen. Mit anderen Worten: Wenn der von der Kathetenebene BA aus von links nach rechts gezählte Winkel  $AaM$  spitz ist, so ist das Bild bei  $e^0$ , wenn er stumpf ist, bei  $e$  zu suchen. In dem ersteren Falle zeigt sich das Bild des Stabs N im unteren Prisma bei  $e''$ , in dem zweiten bei  $e'$ . Hiernach wird man sich in dem Gebrauche dieses Prismenkreuzes bald zurecht finden.

## B. Instrumente zur Aufnahme der Winkel durch Zeichnung.

§. 122. Die meisten Messungen werden in der Absicht gemacht, das Gemessene in Plänen bildlich darzustellen. Diese Absicht kann auf zwei Wegen erreicht werden: entweder mittelbar dadurch, dass man aus den auf dem Felde gemessenen Linien und Winkeln die Figuren, welche die gegenseitige Lage der Punkte versinnlichen, zu Hause berechnet und zusammenstellt; oder unmittelbar dadurch, dass man auf einem mit Papier überzogenen Reisbrette eine Vorrichtung aufstellt, welche gestattet, die Richtungen, in denen man visirt, sofort auf das Papier zu zeichnen. Erhält man hierdurch die Winkel der Figuren, so bedarf es nur noch eines verjüngten Massstabs und eines Zirkels, um auch gemessene Längen sofort in einem bestimmten Verhältniss zur wirklichen Grösse abtragen zu können.

Das Zeichenbrett muss, da es weder auf den Boden gelegt noch in der Hand gehalten werden kann, von einem Gestelle getragen werden: beide zusammen geben aber einen Messtisch.

Da die Pläne den Grundriss einer Gegend darstellen, so ist es nöthig, dass sich die Tischplatte wagrecht stellen lässt: folglich bedarf man zu dem Messtische ausser der hierfür passenden Einrichtung seines Gestells einer Libelle. Soll die von einem bestimmten Punkte des Felds aus aufgenommene verjüngte Figur der natürlichen geometrisch ähnlich sein, so ist klar, dass jener Punkt und sein Bild auf dem Papiere in einer Lothrechten liegen müssen: dazu ist aber eine Lothgabel nöthig. Fügt man hierzu die schon erwähnte Visirvorrichtung, welche Kippregel heisst, und den gleichfalls schon genannten Zeichnungs-massstab, so ist der gesammte Messtisch-apparat, den wir nun im Einzelnen betrachten wollen, beisammen. Der Messtisch wurde zu Ende des 16. Jahrhunderts (im Jahre 1590) vom Professor Praetorius in Altdorf bei Nürnberg erfunden und hat seitdem mannichfaltige Abänderungen und Verbesserungen erfahren. Da wir jedoch keine Geschichte desselben schreiben, sondern nur sein Wesen und seinen Gebrauch zeigen wollen, so wird es genügen, dieses an zwei oder drei

t  
l  
a  
-  
e  
e  
e

l

s  
n  
b  
-  
d  
r  
e  
n  
n

n  
r  
it  
r-  
st

und passen in ähnliche Vertiefungen des Kopfes. Nach der Axe der Rundung geht durch jedes Bein ein Metallcylinder, welcher in der Mitte von einer in einem Ausschnitte des Beins steckenden Metallscheibe gefasst wird, die sich an einer den Gestellkopf (S) durchdringenden Schraube (F) befindet. Durch Anziehen und Nachlassen der Mutter dieser Schraube mit einem Knebel kann die Reibung des Beins in seiner Höhlung vermehrt und vermindert und folglich seine Beweglichkeit kleiner und grösser gemacht werden.

Ferner soll das Gestell so eingerichtet sein, dass es eine leichte Verticalbewegung des Blatts gestattet, um dasselbe mit Hilfe einer Libelle wagrecht zu stellen. Zu dem Ende ist hier die Wendeplatte (P) mit einer metallenen Nuss (N) verbunden, welche in einer Höhlung des Gestellkopfes

Fig. 147.

(S) ruht und mit einer durch sie und den Kopf gesteckten Schraube (der Primerschraube I, Fig. 146) mehr oder weniger gegen die Unterlage gedrückt werden kann. Dreht man die Knebelmutter (m) zurück, so kann sich die Nuss in ihrer Höhlung um den Kopf (k) der Schraube in dem Masse bewegen, als es die drei Stellschrauben (D) gestatten, welche auf ihren platten Rand, in den sie an der Wendeplatte ausläuft, drücken. Da durch drei Punkte die Lage einer Ebene bestimmt ist, so kann auch durch die eben genannten Stellschrauben die Neigung der Wendeplatte (P) und des Tischblatts (B) gegen den Horizont verändert werden. Bei dieser Veränderung löst man die Nuss nicht mehr als nöthig ist, sie durch den sanften Druck der Stellschrauben um den Punkt k zu bewegen. (Fig. 146.)

Die Wendeplatte soll eine Drehung des Blatts in wagrechtem Sinne gewähren, um eine gezeichnete Richtung mit einer natürlichen auf dem

Felde parallel zu stellen. Geschieht diese Drehung um einen sehr kleinen Winkel mit Hilfe einer Schraube, so nennt man sie eine *feine*; geschieht sie aber mit der Hand ohne die Schraube, so heisst sie eine *grobe* Drehung.

Diese beiden Drehungen geschehen hier um einen senkrechten hohlen Zapfen, welcher auf einer Metallplatte (b) steht, womit die Nuss oben abgeschlossen ist. Diesen Zapfen umgibt eine in die Wendeplatte eingelassene Hülse, während seine Höhlung die Mutter einer Schraube (C) ist, durch welche die genannte Platte stets gegen den ebenen Rand der Nuss gedrückt wird. Um diesen Druck gleichmässiger zu machen, befindet sich unter dem Kopfe der Schraube C eine federnde Metallscheibe, die jedoch in der Zeichnung nicht gut sichtbar ist. Will man die Drehung der Wendeplatte hemmen, so zieht man die zwei Stellschrauben c, c (Fig. 146) an, welche die Metallplättchen e, e gegen den Rand i, i der Nuss drücken und dadurch eine Reibung erzeugen, welche dem beabsichtigten Zwecke entspricht.

Fig. 148.



Fig. 149.

Die Schrauben c, c müssen gelüftet sein, wenn man eine grobe oder feine Drehung ausführen will. Soll die grobe Drehung gehemmt werden, so hat man nur die Klemmschraube s anzuziehen, wodurch die Wendeplatte in Folge der Reibung der Klemmplatte u an dem genutheten Rande der Nuss festgehalten wird, wie aus den Figuren 148 und 149 deutlich zu entnehmen ist, von denen die erstere einen Durchschnıtt und die letztere eine Untersicht der Klemmvorrichtung darstellt.

Nach dieser Hemmung ist aber noch eine *feine* Drehung mit der Schraube r möglich; denn da durch die Klemmschraube s nur der Arm h an der Nuss festgestellt wurde, so kann sich die Wendeplatte noch um ihre Axe (C) drehen. Die Drehung ist indess auf den kleinen Bogen eingeschränkt, welcher vom Fusse der Schraube r bis an die Stahlfeder f reicht, die an der Klemmplatte u sitzt. Man entnimmt hieraus, dass dem Messtischblatte schon durch die grobe Drehung seine vorgeschriebene Richtung nahehin gegeben werden muss, wenn die genaue Einstellung durch die *feine* Drehung möglich sein soll. Ist diese Einstellung bewirkt, so zieht man die Schrauben c, c fest an, um jede weitere Drehung unmöglich zu machen.

§. 124. **Aufstellung des Messtisches.** Die Aufstellung kann unter verschiedenen Bedingungen geschehen; wer jedoch die folgenden drei gleichzeitig zu erfüllen versteht, weiss sich in allen Fällen zu helfen. Es sei nämlich

- 1) ein gegebener Punkt des Messtischblatts über einen gleichfalls gegebenen Punkt des Felds zu stellen;
- 2) eine gegebene Richtung auf dem Blatte mit einer gegebenen Richtung auf dem Felde in eine Verticalebene zu bringen, und
- 3) das Messtischblatt wagrecht zu stellen.

Die gegebene Richtung auf dem Felde heiße  $MN$ , ihr Bild auf dem Messtischblatte  $m n$ , und es sei zunächst  $m$  über  $M$  centrisch aufzustellen, so dass  $m$  in dem Lothe von  $M$  liegt.

Man bringe den Messtisch über den Punkt  $M$  des Felds und stelle ihn so, dass nach dem Augenmasse erstens  $m$  über  $M$ , zweitens  $m n$  in der Richtung von  $MN$ , und drittens das Blatt ziemlich wagrecht liegt. Diese erste Aufstellung prüfe man hierauf mit der Lothgabel und verbessere sie nach Maassgabe der Abweichung, welche dieselbe anzeigt, entweder durch Verschiebung des Blatts, oder durch Versetzen des Gestells, oder durch beides zugleich. Nach einigen Versuchen wird man es dahin bringen, dass  $m$  centrisch über  $M$  steht; während  $m n$  nahehin in  $MN$  liegt und das Blatt nicht stark von der wagrechten Lage abweicht.

Nun beginnt die Horizontalstellung damit, dass man die Knebelmutter  $m$  öffnet und eine berichtigte Röhrenlibelle in der Richtung zweier Stellschrauben  $D, D$  auf das Messtischblatt setzt. Indem man eine dieser Schrauben zurück, die andere vorwärts dreht, bringt man die Libelle zum Einspielen. Das Blatt steht also in der Richtung der Libellenaxe wagrecht. Nun stelle man die Libelle senkrecht auf ihre erste Richtung, so dass sie jetzt über die dritte Stellschraube  $D$  weggeht. Bringt man mit dieser Schraube die Libelle wieder zum Einspielen, so steht das Blatt nach der zweiten Richtung wagrecht. Durch diese zweite Stellung kann aber die erste etwas verändert worden sein; man bringt daher die Libelle in ihre erste Lage zurück und bewirkt, indem man gleichzeitig die Mutter  $m$  etwas anzieht, durch die Stellschrauben  $D, D$  abermals das Einspielen. Hierauf kommt die Libelle wiederholt in die zweite Lage, und es wird auch hier das Horizontalstellen durch die dritte Schraube  $D$  gleichzeitig mit dem Anziehen der Mutter  $m$  bewirkt. Eine Rückversetzung der Libelle in die erste Lage zeigt jetzt kaum mehr eine Abweichung; ist dieses aber der Fall, so muss die Libelle an jeder Stelle des Bretts, wenn dieses und das aufgespannte Papier vollkommen eben sind, einspielen. Es ist wesentlich, dass man die Primerschraube  $I$  durch die Knebelmutter  $m$  so stark anzieht, dass sich die Nuss nicht mehr drehen kann; dieses Anziehen darf aber selbstverständlich nicht nach der Horizontalstellung geschehen, sondern muss, wie schon angegeben, während dieser nach und nach vorgenommen werden.

Nach der Horizontalstellung ist noch die Einstellung der Richtung  $m n$  in die Richtung  $MN$  zu bewirken. Da schon vorher  $m n$  nach dem Augenmasse in die Ebene von  $MN$  gebracht wurde, so wird die feine Drehung hinreichen, das Zusammenfallen der Ebenen von  $MN$  und  $m n$  zu bewirken. Zu dem Ende denke man sich an  $m n$  ein Diopter oder eine Kippregel angelegt, deren Visirebene durch  $m n$  geht; öffne die Schrauben  $c, c$  etwas, ziehe die Klemmschraube  $s$  an und drehe die Mikrometerschraube nach Erforderniss vor- oder rückwärts, bis die Visirlinie auf den Punkt  $N$  trifft. Schliesst man alsdann die Schrauben  $c, c$ , so dass die Platten  $e, e$  an dem Rande der Nuss fest anstehen, so ist die Aufgabe gelöst und eine wieder-





Richtung M N so anlegt, dass der auf dem Blatte gemessene Abstand  $m p = r$  in gleicher Grösse M P auf das Feld übertragen wird.

§. 125. Neuere Messtische. Der Reichenbach'sche Messtisch lässt, wie alle älteren Messtische, hinsichtlich der Stabilität und leichten Handhabung Manches zu wünschen übrig. Es haben sich deshalb mehrere Mechaniker veranlasst gesehen, andere Constructionen nach eigenen und fremden Ideen auszuführen, welche dem Messtische seine Schwerfälligkeit benehmen und ihn dem Theodolithen näher bringen, und dieses Ziel wurde bei den Messtischen von Ertel in München, Breithaupt in Cassel, Osterland in Freiberg, G. Starke und E. Kraft in Wien, Jähns in Berlin u. A. mehr oder weniger erreicht.

Der Messtisch von Osterland wurde von Prof. Junge in Freiberg in Dingler's polytechnischem Journale (Bd. CLVIII S. 345) beschrieben und es hat diese Beschreibung ebendasselbst (Bd. CLX S. 88) eine Entgegnung von O. Börsch in Cassel zu Gunsten des Breithaupt'schen Messtisches hervorgerufen, in welcher der letztere ausführlich besprochen und mit dem ersteren verglichen wurde. Eine andere kleine literarische Fehde dieser Art fand statt zwischen G. Starke, welcher seinen patentirten Messtisch im 1. Hefte des Jahrgangs 1860 der Zeitschrift des österreichischen Ingenieurvereins beschrieb, und E. Kraft in Wien, welcher im 4. und 5. Hefte desselben Jahrgangs der genannten Zeitschrift seine wohlbekannten Messtische gegen die Starke'schen vertheidigte. Bezüglich der Einrichtung und Beurtheilung dieser Messtische auf die genannten Schriften verweisend, beschreiben wir nachfolgend nur einige von Ertel und Sohn in München, Ott und Corad in Kempten und Jähns in Berlin ausgeführte Messtischconstructionen.

1) Der Messtisch, welchen das mechanische Institut von Ertel & Sohn dahier im Jahre 1861 nach unserer Angabe für die hiesige polytechnische Hochschule angefertigt hat (Bauernfeind's älterer Messtisch) ist in Fig. 151 perspectivisch, jedoch ohne Blatt, und in Fig. 152 im Durchschnitte dargestellt. Er hat Einiges mit dem Breithaupt'schen und Osterland'schen Messtische gemein, unterscheidet sich aber von beiden hauptsächlich durch die Art der Befestigung und seitlichen Verschiebung des Menselblatts. An dem Reichenbach'schen Messtische ist dieses Blatt mittels Nuthen und Schrauben an der Wendeplatte befestigt (Fig. 147) und es kann nur nach einer einzigen Richtung ( $a' n$ ,  $n a'$ ) verschoben werden. Der Osterland'sche Messtisch besitzt eine solche Vorrichtung gar nicht und es ist in der Beschreibung desselben lediglich bemerkt, dass das Menselblatt auch zum Verschieben eingerichtet werden kann. Wenn aber das Blatt gegen seinen Untersatz verschoben werden soll, wie es nach dieser Bemerkung nicht anders möglich ist, so führt diese Verschiebung, wie die Reichenbach'sche, den Uebelstand mit sich, dass der Schwerpunkt des Menselblatts ausserhalb seiner Unterstützung liegt, wodurch die Wandelbarkeit des Instruments offenbar vermehrt wird. Wir schrauben das Tischblatt an einen Messingteller von 30<sup>cm</sup> Durchmesser durch 3 gleichweit entfernte Schrauben ( $a$ ,  $a$ )

fest und verschieben es sammt der Axe in 2 auf einander senkrechten Oeffnungen von 12<sup>cm</sup> Länge ( $c\ c$ ,  $c'\ c'$ ), die in dem Stativkopfe angebracht sind. Dadurch kann also das Messelblatt um je 4<sup>cm</sup> aus der Mitte des Stativs gerückt werden, ohne dass sich die gegenseitige Lage des Blatts und seines Trägers im mindesten ändert. Zur Verbindung des Dreifusses D mit dem Stativkopfe S wenden wir die Stangenschraube  $x$  (Fig. 152) gerade so an,

Fig. 151.

wie dieses Breithaupt zuerst bei Nivellirinstrumenten und Grubentheodolithen (siehe daselbst) gethan hat.

Das Breithaupt'sche Messstischgestell, welches im Kopfe einen kreisförmigen Ausschnitt hat, durch den die Büchse des Dreifusses geht, gestattet zwar auch eine seitliche Verschiebung des Aufsatzes mit dem Messelblatte; dieselbe beträgt aber kaum 2<sup>cm</sup> und erfordert eine complicirte Verbindung des Dreifusses mit dem Stativkopfe. In diesem müssen nämlich auf der unteren Seite und in Abständen von 120° drei starke Spiralfedern angebracht werden, um den hölzernen Boden des Kopfes, auf den die Schraubenmutter

der Dreifussbüchse mittelbar durch eine zweite Holzplatte drückt, federnd zu machen.

Die grobe Horizontaldrehung des Menselblatts wird an unserem Messtische durch eine am oberen Rande der Dreifussbüchse angebrachte, aus einem Ringe und einer Klemmschraube (s) bestehende Bremse gehemmt und hierauf die feine Drehung durch die Mikrometerschraube (r) mit ent-

Fig. 162.

gegenstehender Spirale (q) bewirkt. Diese von Ertel fast allgemein angewendete Vorrichtung entspricht hier ihrem Zwecke vollständig, und es ist nach unserer Erfahrung weder eine zweite Klemmschraube (welche Osterland gebraucht), noch eine Differentialmikrometerschraube (welche Breithaupt anwendet), zur Feinstellung nöthig.

Die Axe C ist massiv aus Rothguss und nach Reichenbach bloss an dem oberen und unteren Ende conisch abgedreht. Der Druck des Menselblatts und des Tellers geht durch diese beiden Kegeltheile allein auf die Büchse B über, da die Grundfläche des Tellers p und der cylindrische Theil der Axe die Büchse nicht weiter berühren. Durch die Elasticität der

in der Schraubenstange angebrachten federnden Platte *e* wird dem Drucke des Zapfens einigermassen entgegengewirkt und so die Bewegung erleichtert.

Da bei der Horizontalstellung des Messtischblatts die durch eine Fuss-schraube (*f*) hervorgebrachte Drehung um die in Messingplatten (*o*, *o*) befindlichen Füße der gegenüberstehenden Schrauben stattfindet, so muss sich die Schraubenstange (*x*) in den kreuzförmigen Ausschnitten (*c c*, *c' c'*) um den Betrag des Drehwinkels frei bewegen können, wesshalb diese Ausschnitte (wie Fig. 152 zeigt) nach oben und unten etwas erweitert sind. Die punktierten Linien *b*, *b* deuten die Weite des Ausschnitts in der Mitte des Stativs an, wo dieselbe so gross sein muss, dass der Kopf *x* der Schraubenstange leicht hindurchgeht. Der Kugelansatz *k*, welcher durch die Schraube *z* und die Spirale *y* gegen die Messingplatte *m* und die Grundfläche der Stativplatte wirkt, darf selbstverständlich nur nach und nach und erst dann fest angezogen werden, wenn das Blatt horizontal ist. Die Schraube *z* ist demnach hier gerade so zu handhaben, wie bei dem Reichenbach'schen Messtische die Schraube *I* (Fig. 146). Zur Verstärkung der Wirkung der Stangenschraube und folglich zur Vermehrung der Sicherheit gegen eine zufälliges Drehen des Menselblatts sind die Grundflächen der Fussplatten *o*, *o* möglichst rauh gemacht, weil mit der Rauheit dieser Flächen die Reibung und folglich auch der Widerstand gegen Drehung wächst.

2) Vor einigen Jahren hat der hiesige Obergeometer B. Geyer ebenfalls bei Ertel und Sohn einen Messtisch anfertigen lassen, welcher in mehrfacher Beziehung empfehlenswerth ist. Aus der beigedruckten perspectivischen Abbildung des Gestells und des Dreifusses (Fig. 153) geht hervor, dass die Füße des ersteren wie beim Messtische von Jähns (Seite 189) durchbrochen sind und der Kopf des Gestells nicht aus Holz sondern aus einer Metallplatte *p* besteht, welche die Stellschrauben *ff* des Dreifusses so aufnimmt, dass sie sich mit ihren geränderten Köpfen leicht drehen lassen und doch den Dreifuss fest mit dem Gestelle verbinden.

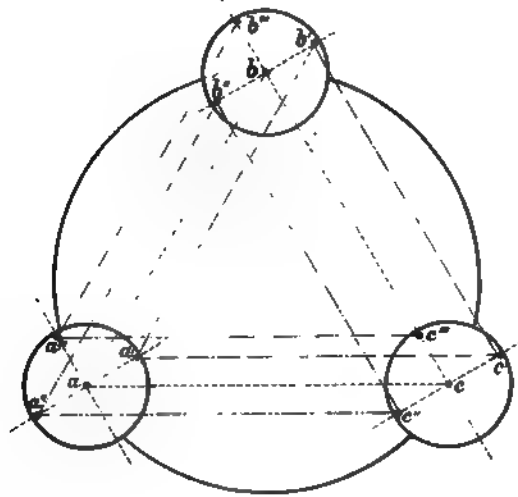
Die grobe Drehung des Tellers *tt*, der das Messtischblatt trägt, wird mit dem Hebel *s* durch einen Druck auf den Centralzapfen gehemmt, und die feine Drehung durch eine Stellschraube *r* hervorgebracht. Das Blatt, auf dem Teller durch vier Druckschrauben *a*, *a'* befestigt, kann, so lange diese Schrauben nicht angezogen sind, nach der Richtung *a' a'* verschoben werden, nach der zweiten die erste schneidenden *a a* jedoch nicht. Diese zweite Verschiebung wird erst möglich, wenn der Teller die nachfolgende von dem hiesigen Trigonometer J. H. Franke angegebene Einrichtung hat. Wenn nämlich nach der schematischen Fig. 154, S. 186 in dem kreisförmigen Teller von 25<sup>cm</sup> Durchmesser drei kleinere um 120° von einander abstehende feste Kreise *a*, *b*, *c* von 6<sup>cm</sup> Durchmesser angebracht und die vorhin erwähnten vier Druckschrauben, auf drei vermindert, mit Klemmplatten versehen werden, ist es möglich, das feste Dreieck *a b c* der drei Druck-



### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

der horizontalen Lage des Blatts ausführen; drittens sind die Füße r'schen Messtisches wie ihre Vorbilder am Messtische von Jähns 3) zu schwach und bedürfen einer Verstärkung.

Fig. 155.



auf Grund dieser Erfahrungen haben wir den neuen Messtisch, das geodätische Institut der hiesigen polytechnischen Schule bei den Mechanikern Ott und Coradi in Kempten in der Gestalt lassen, welche Fig. 155 zeigt (Bauernfeind's neuerer Messtisch). Gestell hat durchbrochene Füße, welche stärker sind als die der von Jähns und Geyer. Die Schrauben f, f des Dreifusses ruhen durchbrochenen gusseisernen Gestellplatte p und lassen sich mit änderten Köpfen leicht drehen. Eine dreitheilige federnde Platte welche mit der Druckschraube q und der Platte c unterhalb des Gestells in Verbindung steht, gestattet dem Dreifusse die erforderliche Bewegung und hält ihn nach der Horizontalstellung am Stativ fest. Die grobe Drehung des Blatts geschieht durch Druck auf Halzapfen mit Hilfe der Schraube s, die feine Drehung wird durch Schraube r bewirkt. Auf dem Dreifusse ruhen zwei Schlitten o, u, zur Verschiebung des Blatts nach zwei zu einander senkrechten Richtungen, in der Art, dass der obere Schlitten die des unteren mitbewegt, aber nicht umgekehrt der untere die des oberen. Diese Bewegungen werden durch je zwei Druckschrauben, welche einander gegenüber (m, m' für den unteren und n, n' für den oberen Schlitten) gebracht. Das Messtischblatt wird mit vier Druckschrauben a, a in den Sitzen i, i der durchbrochenen messingenen Wendeplatte ii fest-

Wir haben bis jetzt noch keinen Messtisch unter den Händen gehabt, an dem alle Theile so unwandelbar sind und alle Bewegungen so leicht und sicher ausgeführt und gehemmt werden können als an dem vorstehend beschriebenen Messtische; leider ist er etwas schwerer ausgefallen als wir

Fig. 155.

beabsichtigten. Es beträgt nämlich sein Gewicht mit Einschluss des Blatts 26 Kilogramm, während der Wiener Messtisch von Stärke 24 und unser älterer nur 18 Kilo wiegt. Unbeschadet der Festigkeit lässt sich jedoch bei neuen Bestellungen das Gewicht der Füße, der Gestellplatte und der Schlitten, und damit das des Tisches bis auf 22 Kilo vermindern.

4) Der Messtisch, welchen vor etwa zwölf Jahren der Civilingenieur R. Jähns in Berlin construiert hat, verdient wegen des neuen Principe der Horizontalstellung, das bei ihm zuerst angewendet wurde, hier abgebildet und beschrieben zu werden. Dieses Princip lässt sich in folgender Weise darstellen.

Es sei A B C D (Fig. 156) eine horizontale Ebene, welche um eine fest mit ihr verbundene, unter einem kleinen Winkel ( $\alpha$ ) gegen die geneigte







quere Messtische.

den theoretischen Betrachtung beruhende Jähns'sche Messtisch ist in Fig. 157 perspectivisch und so abgebildet, dass das Blatt (T) und die Kapsel (D) weggelassen, während Fig. 158 eine Verbindung von verticalem Durchschnitt und Aufriss zeigt.

Ein dreibeiniges festes Gestell trägt eine kreisförmige Metallplatte (c), auf welche eine Messingkapsel (D) geschoben und befestigt werden kann. Diese Platte enthält zwei Lager für die Axe (m) der Scheibe s', welche

Fig. 157.

a .

a

mittels der Schraube S um diese Axe gedreht werden kann. Zu dem Ende läuft die Schraube oben in eine Kugel aus, welche in eine cylindrische an der unteren Seite der Scheibe angebrachte Nuth eingeschoben ist. Auf der Scheibe s' ruht eine zweite Scheibe s, welche sich um eine auf den genau abgeschliffenen Berührungsebenen beider senkrecht stehende Axe (a) drehen lässt, indem sie mit dem Messtischblatte (T) durch einen Verticalzapfen (A), dessen Grundfläche eben die Scheibe s ist, in fester Verbindung steht. Diese Drehung ist durch das Messtischblatt zu bewirken, wenn erstens die Druckschraube (S') gelüftet und zweitens die Klemmschraube q angezogen ist. Ist dagegen q gelüftet und (S') angezogen, so lässt sich das Tischblatt um



klemme die grobe Drehung um den Verticalzapfen A mit der Schraube q. Durch diese Klemmung ist der Tisch fest mit der Scheibe s verbunden. Nun setze man eine Röhrenlibelle auf den Tisch und bewege diesen auf der Scheibe s' und die Libelle entgegengesetzt auf dem Tische so lange, bis eine (der m o in Fig. 156 entsprechende) horizontale Richtung des Blatts gefunden ist, was in der Regel sehr schnell von statten geht. Alsdann drehe man die Libelle in eine die erste ungefähr senkrecht schneidende Richtung und bringe sie mit der Schraube S zum Einspielen. Dadurch wird die in der Fig. 156 mit i k bezeichnete Richtung horizontal gestellt. Verbessert man durch Wiederholung dieses Verfahrens den in der Regel noch vorhandenen kleinen Fehler der horizontalen Lage des Tischblatts, so ist dieses aufgestellt und es kann nunmehr, nach Lüftung der Schraube q und Anziehung der S', um den Zapfen A gedreht und so in jede für die Aufnahme erforderliche Richtung gebracht werden, so wie sich mittels des Rings R, wenn die Schrauben a', a'', a''' gelüftet sind, ein gegebener Punkt des Meastisches, welcher nicht genau im Lothe des ihm auf dem Felde entsprechenden Punkts liegt, centriren lässt.

Nach den an der hiesigen Ingenieurschule seit fünf Jahren gemachten Erfahrungen lässt der Jähns'sche Meastisch in mehr als einer Beziehung zu wünschen übrig, namentlich dürften einige Details besser construirt sein. So z. B. besitzen die zum Feststellen dienenden Schrauben S, S' und q zu kleine Hebelsarme in Bezug auf äussere Kräfte, und die Hülse C ist zu schwach, wesswegen ihre senkrechte Lage zur Platte p sehr leicht Schaden leidet. Die Schrauben S und S' können aus dem angegebenen Grunde nicht fest angezogen werden, die Lage des Tischblatts ist deshalb sehr wandelbar. Der Erfinder anerkennt diese Mängel und ist zur Zeit bemüht, sie zu beseitigen.

### Die Kippregel.

§. 126. Beschreibung. Die Vorrichtungen zur Bestimmung der gegenseitigen Lage der Winkelschenkel sind sehr verschieden. Früher bediente man sich fast ausschliesslich des Diopterlineals, einer Verbindung von einem messingnen Lineale mit zwei Dioptern, deren Visirebene durch die Kante des Lineals geht und auf dessen Ebene senkrecht steht. (Fig. 5 gibt hiervon eine Anschauung, wenn man sich die Diopter so weit zur Seite geschoben denkt, dass die Visirlinie in die durch die Linealkante gelegte Normalebene fällt.) Da aber die Diopter an dem Fehler leiden, der in §. 28 besprochen wurde, und Kurzsichtige sich derselben ohne Brillen gar nicht bedienen können, so findet man in neuerer Zeit viel häufiger Fernrohre als Diopter mit dem genannten Lineale verbunden. Diese Verbindung ist so eingerichtet, dass sich das Fernrohr um eine zur Linealebene parallele und gegen die Kante des Lineals senkrecht stehende Axe auf- und niederdrehen (kippen) lässt. Daher der Name Kippregel. Die nachfolgende Fig. 159,

welche eine vollständige Ansicht dieses Instruments gibt, bedarf nur kurzer Erläuterungen.

Auf dem messingnen Lineale (B C) ist ein senkrechter Ständer (S) mit seiner Unterlagsplatte so befestigt, dass er, wie weiter unten erklärt wird, durch die Schraubchen d, e und m, n sowohl im lothrechten als wagrechten Sinne etwas gedreht werden kann. Dieser Ständer trägt an seinem Kopfe eine zu seiner Mittellinie senkrecht stehende Axe (D), mit der das Fernrohr (F) rechtwinklig verbunden ist und um welche es gekippt wird. Man nennt diese Axe die Drehaxe des Fernrohrs. Dieselbe reicht so weit über den Ständer hinaus, dass die optische Axe in die Normalebene der Linealkante (B C) gebracht werden kann. Das Fernrohr, ein astronomisches mit Fadenkreuz, kann eine grobe und eine feine Drehung machen. Die grobe ist möglich, wenn durch Rückwärtsdrehen der Schraube b der Druck auf die

Fig. 458.

Drehaxe aufgehoben wird, und die feine, wenn man die Schraube b anzieht und die Mikrometerschraube C (welche auf den Hebel h drückt, dem eine Stahlfeder entgegenwirkt) vor- oder rückwärts dreht. Ein Gradbogen (V), dessen Ebene der Visirebene parallel ist und dessen Mittelpunkt in der Drehaxe liegt, die in ihrer Verlängerung die optische Axe schneidet, dient zur Messung der Höhen- und Tiefenwinkel der Visirlinien. Dieser mit der Drehaxe fest verbundene Bogen ist kein wesentliches Erforderniss der Kippregel, erscheint aber als angenehme Beigabe in Fällen, wo man die Grösse der genannten Winkel zu kennen wünscht. Sein Nullpunkt soll in der Senkrechten liegen, die man im Mittelpunkte des Bogens gleichzeitig auf die Drehaxe und die Richtung der Visirlinie des Fernrohrs ziehen kann. Vom Nullpunkte aus ist der Bogen nach beiden Seiten hin in der Regel nur bis auf halbe Grade unmittelbar getheilt, während der an dem Ständer

feststehende <sup>1</sup> Nonius (N) zur mittelbaren Ablesung bis auf einzelne Minuten eingerichtet ist. Bei horizontaler Stellung des Messtisches gibt selbstverständlich die linke Seite des Bogens Höhenwinkel und die rechte Tiefenwinkel an. Das Diopter (E G), welches auf dem Fernrohre steht, kann man zur schnelleren Auffindung der anzuvisirenden Gegenstände und auch zur Aufnahme selbst benützen. Sowohl das Ocular (E) als das Objectiv (G) ist mit einem Klemmringe an das Rohr geschraubt; beide lassen sich also etwas zur Seite drehen, wenn es nöthig ist.

§. 127. Prüfung und Berichtigung. Von einer guten Kippregel wird verlangt:

- 1) dass die Kante des Lineals vollkommen gerade sei;
- 2) dass das Fadenkreuz deutlich gesehen werde;
- 3) dass die Visirlinie in einer Ebene sich bewege;
- 4) dass diese Ebene auf der Linealebene senkrecht stehe;
- 5) dass die Visirebene die Linealkante berühre oder ihr parallel sei;
- 6) dass bei paralleler Lage der optischen Axe und der Linealkante die Nullpunkte des Verticalkreises und seines Nonius sich decken.

Zu 1 und 2. Diese beiden Untersuchungen sind aus leicht aufzufindenden Gründen nöthig und ihre Ausführung darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Zu 3 und 4. Die Nothwendigkeit der Forderungen (3) und (4) leuchtet sofort ein, wenn man bedenkt, dass die Kippregel dazu bestimmt ist, die in verschiedenen Lagen befindlichen Winkelschenkel auf das Messtischblatt zu projeciren. Man nimmt diese zwei Untersuchungen in dem Falle zugleich vor, wenn sich das Fernrohr nicht durchschlagen (d. h. in die entgegengesetzte Richtung drehen) lässt. Es sind jedoch selbstverständlich beide Forderungen erfüllt, wenn der Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes beim Auf- und Niederbewegen des Rohrs der auf wagrechter Unterlage stehenden Kippregel fortwährend eine lothrechte Linie deckt.

Darum verschaffe man sich zunächst eine lothrechte Linie durch einen langen Senkel oder eine Mauerkante und stelle in einer Entfernung von etwa 30 Meter den Messtisch wagrecht und die zu prüfende Kippregel darauf. Alsdann stelle man durch Drehung des Instruments das Fadenkreuz auf einen beliebigen Punkt des Loths ein und sehe zu, ob dasselbe beim Auf- und Niederkippen fortwährend dieses Loth deckt oder nicht. Geht dabei das Fadenkreuz vom Lothe ab, so sind entweder die Fehler (3) und (4) einzeln oder gemeinschaftlich vorhanden; d. h. es steht entweder die Absehlinie zur Drehaxe des Fernrohrs nicht senkrecht (3), oder es ist diese Axe der Ebene des Lineals nicht parallel (4), oder endlich es neigt sich die Drehaxe gleichzeitig zu der Absehlinie und der Ebene des Lineals.

Häufig rührt die erwähnte Abweichung nur von dem Fehler Nr. 4 her.

<sup>1</sup> Für die Messung der Winkel ist es begreiflicherweise einerlei, ob sich der Nonius oder der Kreisrand verschieben lässt. (§. 75)

nente zum Winkelmessen.

die Stellung der Drehaxe gegen die Ebene der Abweichung der Visirebene von der Lothrecht zum Ständer steht, so muss dessen verändert werden, was auf folgende Weise (P Q) des Ständers ruht auf den 3 Punkten t man die Schraubchen n und i, so kann dieselbe um die Axe rs mit Hilfe der Schraubchen d und e gedreht werden. Soll nämlich die Axe des Ständers und damit die Drehaxe des Fernrohrs gegen die Vorderseite des Lineals geneigt werden, so muss die Unterlagplatte bei d, e erhoben werden, was durch Lüftung des Schraubchens d und Anziehung von e geschieht, da das erstere Schraubchen in das Lineal eingreift, das letztere aber bloss darauf drückt. Die entgegengesetzten Drehungen der Schraubchen bringen auch die entgegengesetzten Bewegungen der Axen hervor.

serungen nicht möglich, das Fernrohr daher in der Lage des Messtischblatts das Fadenkreuz während an der lothrechten Linie, auf deren Null war, hingleitet, so ist es wahrscheinlich, dass das Fadenkreuz zur Drehaxe. Um sich hierüber zu überzeugen, stelle man das Fadenkreuz auf den obersten Punkt und beobachte beim Niederkippen die Abstände zum Lot. Findet man, dass dieselben erst zu Null werden, so ist dieses ein Beweis für die schiefe Lage.

beschreibt die optische Axe um die Drehaxe ein Kreisbogen, das Fadenkreuz am Lothe bezeichnet, ist mit einer durch das Loth gehenden und der nach ein Stück von einer Hyperbel. Ständen die Fadenkreuze einander, so wäre der Weg des Fadenkreuzes immer stärker von dem Lothe abwich, je weiter es von der Drehaxe entfernt wird. Ein solcher Fehler, wenn er sich zeigt, kann durch eine kleine Verstellung des Fadenkreuzes verbessert werden, da die optische Mittelpunkt des Objectivs die Visirlinie ist, der das Kreuz tragende Ring verstellbar ist.

das Fernrohr einschlagen eingerichtet,<sup>1</sup> so kann man die Verstellung auf die Weise für sich durchführen. Man stelle

<sup>1</sup>Man manchmal nach einer Seite hin verschieben, damit das Fernrohr gedreht werden kann.

den Messtisch horizontal und richte die Kippregel so, dass zwei etwa 25 und 50 Meter entfernte lothrechte Stäbe A und B von dem Fadenkreuze des Fernrohrs gedeckt werden, d. h. in der Visirlinie liegen. Alsdann schlage man das Fernrohr durch, ohne an der Stellung des Instruments sonst etwas zu verändern und stecke einen Stab C in einer Entfernung von 30 oder 40 Meter so auf, dass er von dem Fadenkreuze geschnitten wird, also in der neuen Visirlinie liegt. Steht nun dieser dritte Stab mit den beiden ersten in gerader Linie, was man nach Wegnahme der Kippregel vom Messtische von B oder C aus untersuchen kann, so ist die Drehaxe des Fernrohrs senkrecht zur optischen Axe; liegen aber die drei Stäbe in zwei verschiedenen Verticalebenen, so findet diese winkelrechte Lage der Axen nicht statt und es ist leicht zu finden, auf welcher Seite die Drehaxe einen spitzen oder stumpfen Winkel mit der Fernrohraxe bildet. Die Verbesserung geschieht wie vorhin.

Wenn es die örtlichen Verhältnisse nicht erlauben, die beschriebene Absteckung zu machen, so kann man den Stand der Visirlinie gegen die Drehaxe des durchschlagbaren Fernrohrs wie folgt untersuchen. Man stelle den Messtisch genau horizontal und die Absehlinie auf einen sehr entfernten Punkt, ziehe an der Linealkante eine feine Linie, drehe die Kippregel um die Ständeraxe im Halbkreise, so dass die Linealkante wieder an der eben gezogenen Linie anliegt, und schlage hierauf das Fernrohr durch; trifft das Fadenkreuz den vorher anvisirten Punkt, so bilden Drehaxe und Visirlinie einen rechten Winkel, widrigenfalls zeigt der Winkel, um den die Absehlinie in der zweiten Lage von der ersten abweicht, den doppelten Fehler an, von dem die Hälfte am Fadenkreuze zu verbessern ist.

Zu 5. Die Forderung, dass die Visirebene durch die Linealkante gehe oder dieser mindestens [parallel sei, brauchte nicht gemacht zu werden, wenn jede geometrische Aufnahme [durchaus nur mit einer und derselben Kippregel ausgeführt würde und wenn man bei der Orientirung der Aufnahme auf den Winkel  $\varphi$  der Visirebene gegen die Linealkante Rücksicht nähme; denn man erhielte [mit einem so beschaffenen Instrumente allerdings ein geometrisches richtiges Bild des natürlichen Grundrisses, welches aber gegen diesen um den Winkel  $\varphi$  verdreht wäre. Wenn dagegen die mit einer Kippregel, welche den Fehler  $\varphi$  besitzt, begonnene Aufnahme einer Flur mit einer anderen von dem Fehler  $\varphi'$  fortgesetzt wird, so sieht man leicht ein, dass die Seiten der beiden Theilaufnahmen um den Winkel  $\varphi \pm \varphi'$  gegen einander geneigt sein müssen, und aus diesem Grunde fordert man, dass  $\varphi = \varphi' = 0$  sei, und verfährt bei der Untersuchung wie folgt. Man befestige auf dem Messtische, 5 bis 6 Decimeter von einander entfernt, zwei feine Nadeln senkrecht und stelle das Blatt wagrecht; dann setze man die Kippregel so darauf, dass die Linealkante an den beiden Nadeln liegt, und drehe schliesslich das Blatt solange, bis das Fadenkreuz einen etwa 60 Meter entfernten lothrechten Stab deckt. Visirt man nun auch an den beiden Nadeln hin, so decken dieselben den genannten Stab

entweder, oder die Abschlinie geht an ihm vorbei. In dem ersteren Falle ist die Forderung Nr. 5 erfüllt, in dem zweiten aber nicht. Je nachdem die von den Nadeln bestimmte Visirlinie rechts oder links vom Stabe liegt, ist das Fernrohr am Ocularende links oder rechts zu drehen, bis die Dreh-

Fig. 160.



axe desselben senkrecht steht gegen die Richtung der Linealkante. Diese Drehung geschieht um den Punkt  $u$  und wird durch die Schraubchen  $m$  und  $n$  bewirkt. Es müssen zu dem Ende die Schraubchen  $u$  und  $i$  ein wenig gelüftet werden. Damit die Drehung um  $u$  stattfinden kann, während  $d$  in das Lineal hineingreift, ist die Platte  $PQ$ , wie Fig. 160 zeigt, bei  $d$  so weit ausgeschlitzt, als diese Drehung im ungünstigsten Falle erfordert. Die Wechselwirkung der Schraubchen  $m$  und  $n$  ist für sich klar: ihr Stützpunkt ist das Schraub-

chen  $i$ , welches durch einen Schlitz in der Platte  $PQ$  und durch die Unterlage  $s$  in das Lineal reicht.

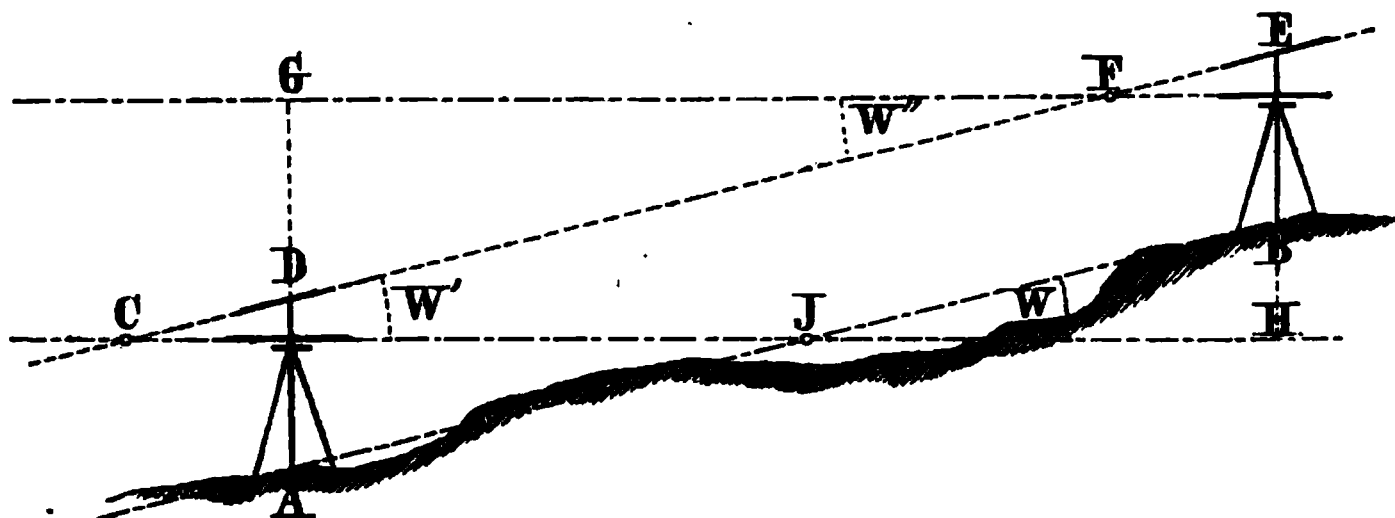
Zu 6. Diese Forderung ist nöthig, wenn die Kippregel die Höhen- und Tiefenwinkel richtig angeben soll. Steht der Messtisch und die Visirlinie wagrecht, so muss der Nullpunkt des Nonius auf den des Verticalkreises zeigen, weil in diesem Falle auch der Höhen- oder Tiefenwinkel null ist. Stehen bei dieser Richtung des Tisches und des Rohrs beide Nullpunkte um einen kleinen Bogen  $c$  von einander ab, so wird jeder gemessene Tiefen- und Höhenwinkel um die Grösse  $c$  fehlerhaft. Ob zu gross oder zu klein, hängt offenbar davon ab, ob unter den erwähnten Umständen der Nullpunkt des Kreises  $V$  links oder rechts vom Nullpunkte des Nonius liegt. Den Winkel, welcher durch den Bogen  $c$  gemessen wird, nennt man den Collimationsfehler des Instruments. Mit diesem Worte lässt sich die sechste Bedingung auch so aussprechen: die Kippregel soll keinen Collimationsfehler haben. Ob ein Collimationsfehler vorhanden und wie gross er ist, erfährt man wie folgt:

a) An einem Bergabhänge (Fig. 161) bezeichne man zwei Punkte  $A$  und  $B$  durch Grundpfähle. Dadurch ist die Richtung  $AB$  und ihre Neigung gegen den Horizont festgelegt. Hierauf stelle man den Messtisch über  $A$  horizontal und bringe mit Hilfe der Lothgabel den Ständer  $S$  der Kippregel in das Loth von  $A$ . Sodann messe man den Abstand  $AD = J$  und trage ihn auf eine Latte, vom Fusse an gerechnet. Diese Latte werde in  $B$  lothrecht aufgestellt, und es sei  $BE = AD = J$ . Nun richte man die Kippregel nach der Latte  $BE$ , stelle das Fadenkreuz auf den Punkt  $E$  ein und lese am Verticalkreise den Höhenwinkel  $w'$ , den er angibt, ab. Alsdann versetze man den Messtisch nach  $B$  und stelle ihn so hoch auf, dass bei wagrechtem Blatte der Abstand der Drehaxe  $E$  vom Punkte  $B$



gleich  $AD = J$  ist. Die Latte lasse man nunmehr in A lothrecht halten und visire die in D befindliche Marke von E aus an. Der Tiefenwinkel, welcher am Gradbogen abgelesen wird, sei  $w''$ .

Fig. 161.



Sind die beiden Ablesungen  $w'$  und  $w''$  einander gleich, so hat das Instrument keinen Collimationsfehler; sind sie aber ungleich, so ist ihr halber Unterschied der Collimationsfehler. Denn nimmt man an, dass  $w$  der wahre Höhen- und Tiefenwinkel der Linie DE und  $c$  der Collimationsfehler ist, so überzeugt man sich leicht von der Richtigkeit folgender zwei Gleichungen:

$$w' = w \pm c \text{ und } w'' = \mp c.$$

Addirt man dieselben, so ergibt sich

$$w = \frac{1}{2} (w' + w'') \quad (86)$$

und subtrahirt man die zweite von der ersten, so folgt:

$$c = \pm \frac{1}{2} (w' - w'') \quad (87)$$

wobei die Vorzeichen die zwei möglichen Lagen des Bogens  $c$  andeuten.

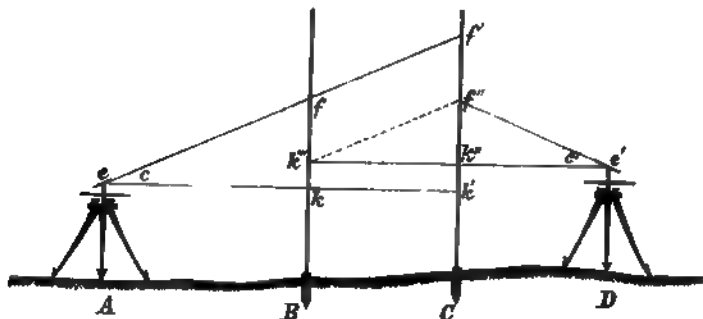
Ist der Höhenwinkel  $w'$  grösser als der Tiefenwinkel  $w''$ , so liegt der Nullpunkt des Kreises rechts vom Nullpunkte des Nonius; im entgegengesetzten Falle aber links. Bei der Lage rechts ist der Collimationsfehler, wenn er nicht weggeschafft werden kann, von den abgelesenen Höhenwinkeln zu subtrahiren und zu den Tiefenwinkeln zu addiren; bei der Lage links muss das Entgegengesetzte geschehen, wie man leicht selbst finden wird.

Wird der Nonius so eingerichtet, dass er ein wenig nach rechts oder links verstellt werden kann, so lässt sich der Collimationsfehler beseitigen und es braucht derselbe demnach bei gemessenen Höhen- und Tiefenwinkeln nicht in Rechnung gebracht zu werden.

b) Wenn kein geneigtes Terrain zur Verfügung steht, kann man wie folgt verfahren. Nach Fig. 162 werden zwei Punkte B und C mit Grundpfählen und zwei andere Punkte A und D im Alignement von BC und wobei der Abstand  $CD = BC$  ist, mit Beispfählen bezeichnet. Stellt man über A den Messtisch horizontal und richtet die auf den Nullpunkt des Vertikalkreises eingestellte Kippregel, welche den Collimationsfehler  $c$  hat, zuerst auf einen in B lothrecht aufgestellten gleichgetheilten Massstab (eine Nivellirlatte), so wird man auf derselben nach der geneigten Visirlinie  $e f$

in  $f$  (statt nach der wagrechten  $e k$  in  $k$ ) ablesen, und wenn hierauf der Massstab in gleicher Weise auf  $C$  wie vorhin auf  $B$  abgelesen wird, so erhält man die Ablesung bei  $f'$  statt bei  $k'$ . Heissen die bei  $f$  und  $f'$  ab-

Fig. 161.



gelesenen Zahlen  $z$  und  $z'$ , so bezeichnen diese die Abstände  $Bf$  und  $Cf'$  in der Längeneinheit des Massstabs (Meter). Versetzt man hierauf den Messtisch nach  $D$ , stellt ihn horizontal und visirt die auf  $C$  stehende und nunmehr gegen ihn gewandte Nivellirlatte an, so erhält man die Höhe  $Cf' = z'$  als Ablesung, während man, wenn kein Collimationsfehler vorhanden wäre, auf der Latte in  $C$  die Höhe  $Ck''$  und auf  $B$  die Höhe  $Ck'''$  erhalten hätte. Man sieht leicht ein, dass das  $\triangle f'k''k'''$  dem  $\triangle f'e'k''$  congruent und dem  $\triangle f'ek'$  ähnlich, folglich auch  $f'k'''$  der  $ff$  parallel und  $fk''' = ff'$  ist. Da man nun  $ff' = z' - z''$  kennt und folglich auf der lothrecht stehenden Latte in  $B$  von  $f$  aus abtragen kann, so erhält man auf dieser Latte den Punkt  $k'''$ , welcher in dem horizontalen Schenkel  $e'k''$  des Winkels  $c$  liegt. Visirt man nunmehr  $k'''$  an, so ist der Collimationsfehler  $c$  am Verticalkreise fixirt und folglich bestimmt. Will man ihn in Rechnung bringen oder wegschaffen, so geschieht es nach den Bemerkungen am Schlusse des ersten Verfahrens (a).

§. 128. Gebrauch der Kippregel. Es seien auf dem Felde drei Punkte  $A, B, C$  abgesteckt und es soll die Horizontalprojection des Winkels  $ABC$  gemessen werden. Man stelle den Messtisch über  $B$  auf, mache das Blatt horizontal und ziehe alle Schrauben an, welche eine Drehung des Blatts um seine lothrechte Axe verhindern. Dann bestimme man mit der Lothgabel auf dem Messtischblatte das Bild  $b$  des Punkts  $B$  auf dem Felde und visire mit der Kippregel, nachdem das Lineal genau an  $b$  gelegt worden ist, nach  $A$ , wo ein Stab lothrecht aufgestellt wurde. Ein feiner Strich mit einem harten Bleistifte nach der Linealkante gibt den Winkelschenkel  $ba$ , der mit  $BA$  in einer Verticalebene liegt. Nun drehe man die Kippregel um den Punkt  $b$  nach  $C$ , stelle das Fadenkreuz genau auf den daselbst befindlichen Stab ein und ziehe wieder eine feine Linie am Lineale hin, so hat man auch den zweiten Schenkel  $bc$  in der Verticalebene von  $BC$ . Da das wagrechte Messtischblatt die zwei lothrechten Ebenen  $a b B A$

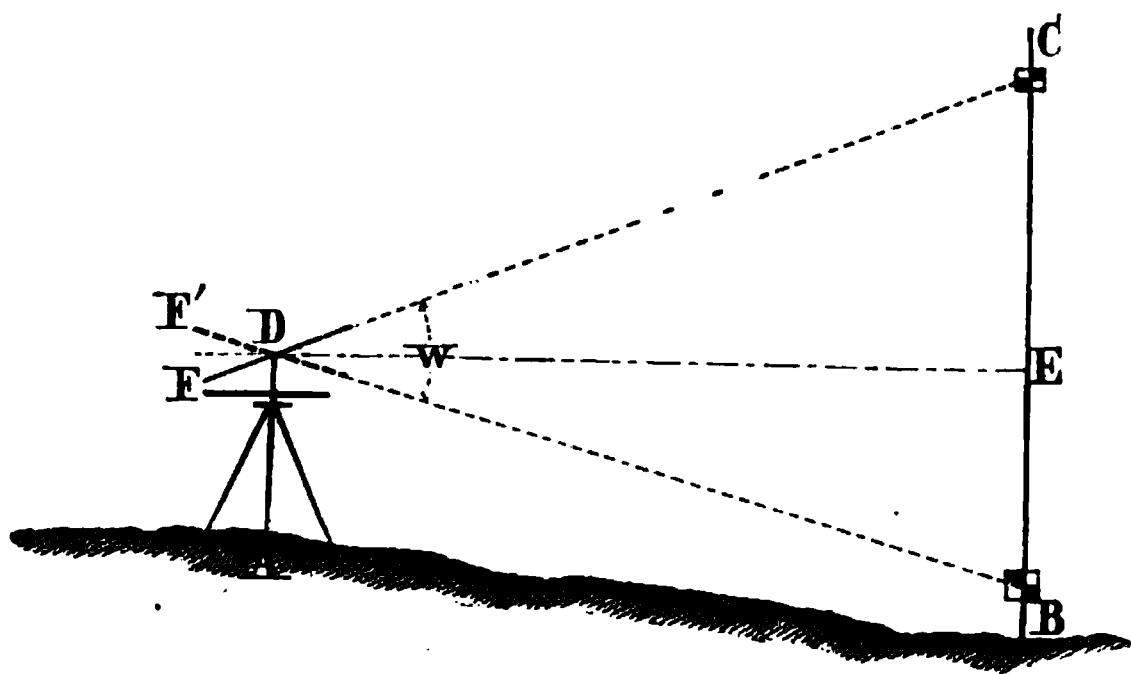
und  $c b B C$  nach den zwei Linien  $b a$ ,  $b c$  schneidet, so ist offenbar  $a b c$  der gesuchte Winkel.

Um den Punkt  $b$  kann man in der eben beschriebenen Weise beliebig viele Winkel aufnehmen. Das Anlegen des Lineals, welches mit grosser Genauigkeit geschehen muss, wird, wenn es oft wiederkehrt, dadurch zu erleichtern gesucht, dass man in dem Scheitel eine sehr feine mit einem Kopfe von Siegellack versehene Nähnadel senkrecht einsteckt. Da aber dergleichen Anschlagnadeln oft zu Fehlern Veranlassung geben, so sollte man sie so viel als möglich zu vermeiden suchen.

Wie man mit dem Messtische und der Kippregel den Höhen- oder Tiefenwinkel ( $w$ ) einer durch zwei Punkte ( $A$ ,  $B$ ) gegebenen Linie findet, ist bereits im vorigen Paragraphen gezeigt worden und es bleibt daher nur noch anzugeben übrig, wie man einen Verticalwinkel findet, der keinen wagrechten Schenkel hat.

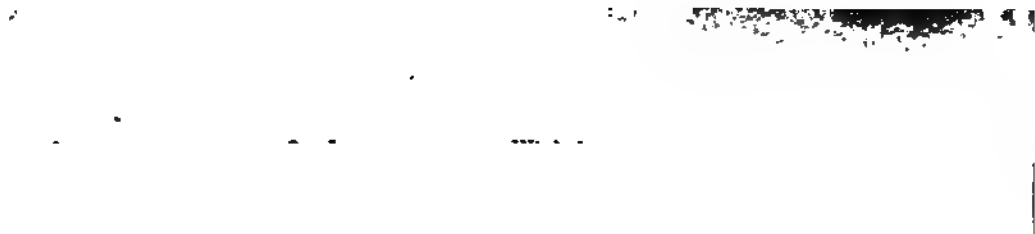
Angenommen, es sei der Winkel  $B D C$ , unter welchem man nach Fig. 163 die lothrechte Linie  $B C$  von der Drehaxe  $D$  der Kippregel aus erblickt, wenn diese über

Fig. 163.



dem gegebenen Punkte  $A$  steht, zu messen, so stelle man über diesem Punkte den Tisch wagrecht und bringe mit der Lothgabel den Ständer der Kippregel in das Loth von  $A$ . Hierauf messe man, indem man auf  $C$  einstellt, den Höhenwinkel  $E D C = w'$  und durch Einstellung auf  $B$  den Tiefenwinkel  $E D B = w''$ . Die Summe beider ist der gesuchte Verticalwinkel  $B D C = w$ . Es ist klar, dass hier der Collimationsfehler, wenn einer vorhanden ist, nicht berücksichtigt zu werden braucht, da er durch die Addition der Winkel  $w'$  und  $w''$ , welche ihn beide, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen enthalten, von selbst aus der Summe wegfällt.

§. 129. Neuere Kippregeln. In der Lehre von den Messungen wird gezeigt, dass die schiefe Lage der Visirebene der Kippregel gegen das Loth einen sehr grossen Einfluss auf die Winkelmessung ausübt, namentlich in durchschnittenem oder gebirgigem Terrain. Diese schiefe Lage tritt aber bei einer an und für sich fehlerfreien Kippregel auch dann ein, wenn das Messtischblatt nicht genau horizontal steht, oder wenn sich das aufgespannte Papier etwas erhebt, oder wenn unter das Lineal der Kippregel feine Sandkörnchen kommen u. s. w. Ferner haben wir in §. 127 gesehen, dass die Lage der Absehlilie der Kippregel gegen die Drehaxe des Fernrohrs in dem Falle schwer zu untersuchen ist, wo sich das Fernrohr nicht durchschlagen



regel in perspektivischer Ansicht dar. Fernrohr und Lineal sind wie bei der vorhergehenden durch einen Ständer verbunden, auf dem, der Drehaxe des Fernrohrs parallel, eine Röhrenlibelle  $o$  ruht, durch deren Einspielen man sich fortwährend überzeugen kann, ob die genannte Axe horizontal und folglich die Visirebene vertical ist. Sollte das Menselblatt seine horizontale Lage verändert haben, so wird dieses durch den Stand der Libelle sofort angezeigt, worauf man dieselbe durch die Fusschrauben  $f, f$  des neuen Messtisches (Fig. 155) sofort verbessern kann. Wäre die geneigte Lage der Drehaxe des Fernrohrs durch zufällige Erhöhung des Papiers, womit das Menselblatt bespannt ist, oder durch Sandkörnchen, die unter das Lineal gekommen sind, entstanden, so kann man diese Ursachen ebenfalls erkennen und unschädlich machen. Hätte sich aber das Tischblatt, wie es allerdings vorkommt, verzogen, so dass seine Oberfläche keine Ebene mehr ist und folglich auch nicht überall wagrecht sein kann, so bleibt nichts übrig, als an den geneigten Stellen des Blatts mit Hilfe der Schraube  $d$  die Drehaxe  $x$  des Fernrohrs zu heben oder zu senken, bis sie horizontal ist, was durch das Einspielen der Libelle angezeigt wird. (Die Wirkung der Schraube  $d$  erklärt sich dadurch, dass die Platte  $p$ , auf welcher Fernrohr, Libelle und Verticalkreis ( $v$ ) mittelbar ruhen, um eine der Linealkante parallel laufende Axe  $u$  drehbar ist.)

Die Einrichtung des Fernrohrs stimmt mit dem im IV. Abschnitte beschriebenen des Ertel'schen Universalinstruments vollkommen überein und muss desshalb, da hier die Distanzmesser noch nicht betrachtet werden können, dorthin verwiesen werden, sowie auch über die Einrichtung und den Gebrauch des ganzen Verticalkreises mit zwei gegenüberstehenden Nonien Näheres in den §§. 148 bis 150 nachzulesen wäre, falls die auf Seite 196 bis 199 gegebenen Erläuterungen über den an der gewöhnlichen Kippregel angebrachten Gradbogen nicht hinreichen sollten. Um eine zu grosse Höhe des Ständers zu vermeiden, hat man am vorderen Ende des Fernrohrs ein Gegengewicht  $\pi_1$  angebracht, durch welches die beiden ungleich langen Theile dieses Rohrs gleich schwer wurden, von denen selbstverständlich nur der kürzere Theil zum Durchschlagen benutzt wird.

Die Prüfung und Berichtigung unserer Kippregel erstreckt sich über die Libelle, das Fernrohr und den Verticalkreis.

Die Libelle lässt sich von der Drehaxe abheben und umsetzen und wird folglich nach §. 43 dieser Axe parallel gemacht. Die Horizontalstellung geschieht durch je zwei Fusschrauben  $f, f$  des Messtisches (Fig. 155), in deren Richtung die Libelle gestellt werden muss. Insofern das Fernrohr bloss zum Visiren dient, wie das der gewöhnlichen Kippregel, wird es auch wie dieses untersucht und berichtigt, wobei hier nur die normale Stellung seiner Visirlinie gegen die Drehaxe erleichtert ist, welche nach der Schlussbemerkung zu Nr. 4 §. 127 vorgenommen wird. Gebraucht man aber das Fernrohr als Distanzmesser, so ist es auch als solcher zu

untersuchen und zu berichtigen. Die Prüfung und Berichtigung des Verticalkreises und seiner Nonien geschieht wie bei dem einfachen Theodolith von Breithaupt.

Die Kippregeln von Ott und Coradi in Kempten stimmen im Wesentlichen mit der unserigen überein, nur ist auf dem Fernrohre eine der am Schlusse des §. 42, Seite 57 erwähnten, um ihre eigene Axe drehbaren Röhrenlibellen angebracht, welche jedoch an der Kippregel von geringerer Bedeutung ist als an einem Nivellirinstrumente. Ihr Nutzen an der Kippregel besteht nur erstens in der erleichterten Bestimmung des Collimationsfehlers des Fernrohrs und in der durch sie gebotenen Möglichkeit, den Messtisch nöthigen Falls auch zum Nivelliren zu gebrauchen.

**§. 130. Genauigkeit der Messtischaufnahmen.** Es ist nicht unsere Absicht, hier schon den Einfluss nachzuweisen, welcher aus einem unvollkommenen Messtischapparate oder aus ungeschickter Behandlung desselben entspringt — davon wird bei den Winkelmessungen die Rede sein — für jetzt liegt uns nur daran zu zeigen, wie gross die Genauigkeit der Messtischaufnahmen unter den günstigsten Umständen, d. h. bei fehlerfreiem Apparate, tadelloser Arbeit, festem Boden und guter Beleuchtung sein kann. Nehmen wir ausser diesen günstigen Umständen ferner noch an, dass der Scheitel *b* des aufgenommenen Horizontalwinkels *a b c* mit grösster Schärfe bestimmt sei, so wird die Genauigkeit dieses Winkels nur noch von der Dicke der Linien, welche seine Schenkel vorstellen, abhängen.

Heisst diese Dicke *d* und die Länge des Schenkels *s*, so verdeckt dieser Schenkel einen Winkel

$$w = 206265'' \cdot \frac{d}{s} \quad (88)$$

und da derselbe Fehler auch bei dem zweiten Schenkel möglich ist, so wird der mit dem Messtische aufgenommene Winkel im Allgemeinen um  $2w$  unsicher, wenn auch der Geometer und sein Apparat ganz vorzüglich sind. Nimmt man an, dass  $d = 0,05$  Millimeter und  $s = 25$  Centimeter ist, so wird  $2w = 82'',5 = 1' 22'',5$ . Bei kleinerem  $s$  würde  $2w$  noch grösser werden, da die Ungenauigkeit mit der Länge der ausgezogenen Schenkel abnimmt. Wenn demnach schon unter den allergünstigsten Umständen ein Horizontalwinkel auf dem Messtische um fast anderthalb Minuten unsicher ist, so wird seine Genauigkeit unter gewöhnlichen Umständen, wo indessen noch sorgfältig gearbeitet wird, nicht grösser als etwa drei Minuten angenommen werden können.

Die Genauigkeit der Messtischaufnahme hängt unter Anderem auch sehr von der Güte ab, mit welcher das Zeichnungspapier auf das Messtischblatt gespannt ist. Denn wenn das Papier Falten macht, so ist die Wirkung davon dem schiefen Stande des Blatts und der daraus hervorgehenden schiefen Lage der Visirebenen gleich zu achten. Hieraus entspringen aber, wenn man nicht durch die richtige Anwendung neuerer Kippregeln

(§. 129) den schlimmen Einflüssen vorbeugt, grobe Fehler. Da aber in jedem Falle das Papier tadelfrei aufgespannt sein soll, so erscheint es nicht überflüssig, hier einige Bemerkungen über das Papieraufspannen zu machen.

Um zu verhüten, dass das Papier bei feuchter Witterung auf dem Tischblatte aufsteht, muss es sehr nass aufgespannt und an jeder Stelle des Bretts festgehalten werden. Dieses Festhalten geschieht durch Eiweiss, welches mit Wasser zu Schaum geschlagen und auf die Oberfläche des Tischblatts gleichmässig aufgetragen wird, nachdem das Papier, welches grösser ist als das Brett, stark angefeuchtet wurde. Sobald das Brett mit Eiweiss bestrichen ist, wird das Papier mit der nassen Seite vorsichtig aufgelegt und mit einem reinen Tuche (nach allenfallsiger Unterbreitung eines Bogens Papier) von der Mitte gegen den Rand hin angedrückt. Zeigen sich Blasen unter dem Papiere, so werden diese durch wiederholtes Streichen gegen den Rand getrieben, wo sie verschwinden. Liegt das Papier auf der ganzen Oberfläche des Tisches fest an, so werden die vorstehenden Ränder desselben mit Gummi, Mundleim oder flüssigem Leim an den Seitenflächen des Blatts auf bekannte Weise befestigt. Beim Abschneiden des Papiers löst sich das Eiweiss leicht vom Brette ab.

Das Festkleben des Papiers an den Seiten des Reissbretts hat ebenfalls seinen guten Grund; denn würde es auf der Oberfläche angeklebt werden, so wären geringe Erhöhungen an den Rändern und folglich schiefe Lagen des Lineals der Kippregel und der Visirebenen nicht zu vermeiden, und überdiess würde die Ebene des Blatts durch das Abschneiden des Papiers sowohl als durch das Reinigen von den Klebmitteln leiden.

### C. Instrumente zur Aufnahme und Absteckung der Winkel im Gradmasse.

§. 131. Die hierher gehörigen Instrumente können nach verschiedenen Principien gebaut sein. Bis jetzt haben sich deren drei geltend gemacht. Es gründet sich nämlich die Einrichtung dieser Winkelmesser entweder auf die Eigenschaft der Magnetnadel, zu jeder Zeit eine bestimmte Richtung gegen die Mittagslinie eines Orts anzunehmen; oder auf die Zurückwerfung und Brechung des Lichts durch Spiegel oder Prismen von Glas; oder endlich auf die Verbindung eines Fernrohrs mit dem beweglichen Durchmesser eines getheilten Kreises, woran die Drehung des Fernrohrs von einem Winkelschenkel zum anderen mit entsprechender Genauigkeit abgelesen werden kann. Nach diesen Grundlagen für den Bau lassen sich die gradmessenden Winkelinstrumente in Bussolen oder Winkelmesser mit Magnetnadeln, in Spiegelinstrumente oder Winkelmesser mit Spiegeln oder Prismen, und in Theodolithe oder Winkelmesser mit Horizontal- und Verticalkreisen eintheilen.



### 1. Die Bussoleninstrumente.

§. 132. Der Name *Bussole* (von dem italienischen *bussola*, eine kleine Büchse) passt für die hier abzuhandelnden Instrumente insofern, als das Gehäus der Magnetnadel und des Gradrings büchsenförmig ist und einen wesentlichen Bestandtheil der auf die Eigenschaften des Magnets gegründeten Winkelmesser ausmacht.

Zur gründlichen Einsicht in die Wirkungsweise der Bussoleninstrumente und namentlich zur Beurtheilung ihrer Genauigkeit wird erfordert, dass man die durch Beobachtungen festgestellten Wirkungen des Erdmagnetismus kenne, wesshalb wir die wichtigsten hier anführen.

Eine Magnetnadel, welche so aufgehängt ist, dass sie sich frei drehen kann, und in deren Nähe keine Gegenstände von Eisen sich befinden, nimmt bekanntlich von selbst eine bestimmte Richtung gegen die Mittagslinie ihres Orts an. Diese Richtung, der magnetische Meridian des Orts, fällt entweder mit der Mittagslinie zusammen oder nicht. Das Zusammentreffen findet an den wenigsten Orten der Erde statt; an den meisten bildet der magnetische Meridian mit dem geographischen einen Winkel. Die Horizontalwinkel beider Meridiane nennt man die magnetische Abweichung (*Declination*). Diese Abweichung, welche bei Beurtheilung des Einflusses des Erdmagnetismus auf Winkelmessungen mit Bussoleninstrumenten allein in Betracht kommt, kann eine östliche oder westliche sein. Die Linie, welche diejenigen Orte der Erde verbindet, an denen die Magnetnadel keine Abweichung anzeigt, die Linie ohne Abweichung, geht durch die Pole um die ganze Erde und theilt dieselbe in zwei Hälften, die europäisch-afrikanische und die asiatisch-amerikanische. In der ersten Hälfte ist die Abweichung des Nordpols der Nadel gegenwärtig westlich, in der zweiten östlich. Diese Abweichungen sind für einen und denselben Ort in verschiedenen Zeiten verschieden, und zwar nicht bloss hinsichtlich ihrer Grösse, sondern auch in Beziehung auf ihre Lage gegen die Mittagslinie: sie können nämlich für einen und denselben Ort grösser und kleiner, östlich und westlich werden. So waren im 16. Jahrhunderte alle Abweichungen in Europa östliche, wurden dann null und gingen in westliche über. Diese wuchsen bis vor etwa 30 Jahren zu einer bestimmten Grösse an und sind nun wieder im Abnehmen begriffen: es lässt sich erwarten, dass diese Abnahme fortdauert und in eine östliche Zunahme übergeht, worauf dann wieder eine Bewegung gegen den Erdmeridian eintritt u. s. f. Der gleichen Aenderungen im Stande der Magnetnadel gegen den Erdmeridian nennt man wegen der grossen Zeiträume, die sie erfordern, um an ihren Grenzen anzulangen, *säculare Aenderungen*. Die nachstehende Tabelle gibt diese Aenderung für Paris innerhalb eines Zeitraums von 278 Jahren:





Die eben besprochenen Aenderungen der magnetischen Abweichungen geschehen nicht sprungweise, sondern stetig, so dass der Stand der Magnetnadel an einem und demselben Orte mit jedem Tage ein anderer ist. Aber auch die auf einen bestimmten Tag treffende mittlere Abweichung bleibt innerhalb dieses Zeitraums nicht unveränderlich, sondern ändert sich mehr und in anderer Weise als die Säcularänderung allein fordern würde. Es finden nämlich von der mittleren Richtung der Nadel, welche für irgend einen gegebenen Tag gilt, wieder östliche und westliche Abweichungen statt, und zwar sind dieselben im Sommer grösser als im Winter und bei Tage stärker als bei Nacht, so dass man den Grund dieser täglichen Aenderungen in dem Einflusse des Sonnenlichts auf die magnetischen Eigenschaften der Körper sucht. Auch hat man beobachtet, dass die täglichen Aenderungen wie die säcularen von der geographischen Lage der Orte abhängen. Folgende Tabelle gibt einen Begriff von der Grösse dieser Aenderungen an einem Tage.

Ort.	Abweichung.		Ort.	Abweichung.	
	Sommer.	Winter.		Sommer.	Winter.
St. Helena	00 4',06	00 3',03	Katharinenburg	00 8',43	00 3',89
Barnaul	7,34	2,96	München	9,34	6,37
Nortschinsk	7,51	2,53	Petersburg	10,07	5,88
Greenwich	8,16	7,02	Toronto	10,70	6,64

Die Magnetnadel hat in unseren Gegenden ungefähr um 8 Uhr Morgens ihre grösste östliche und um 1 Uhr Nachmittags ihre grösste westliche Abweichung; während des Abends und der Nacht kehrt sie wieder auf die Ostseite zurück. Die grössten östlichen und westlichen Abweichungen an einem Tage sind nicht in jedem Jahre von gleicher Grösse, sondern steigen und fallen innerhalb enger Grenzen, so dass man wieder Perioden des Zu- und Abnehmens der täglichen Bewegung der Magnetnadel annehmen muss. Nach Lamont dauert eine solche Periode etwas mehr als 10 Jahre und innerhalb derselben nimmt die Nadel z. B. für München eine grösste Abweichung von 11,5 Minuten und eine kleinste von 6,3 Minuten an, worauf sie wieder zur grössten zurückkehrt. In Folge der täglichen Bewegung kann der Winkel, den die äussersten Lagen der Nadel einschliessen, für München 2mal 11,5 oder 23 Minuten und in nördlicher gelegenen Orten noch mehr betragen.

Fig. 166, Seite 207 macht die tägliche Aenderung des Stands der Magnetnadel, wie solche im Jahre 1859 in Clausthal beobachtet wurde, anschaulich: die Curve A B stellt die mittlere Abweichung der Magnetnadel, C D die grösste östliche Ablenkung um 8 Uhr Morgens, E F die grösste westliche Abweichung um 1 Uhr Nachmittags, und der Abstand der Curven

CD und EF von einander die ganze tägliche Aenderung vor. Die Monate sind mit römischen Ziffern bezeichnet.

Fig. 166.

I    II    III    IV    V    VI    VII    VIII    IX    X    XI    XII

Zu den täglichen Aenderungen der Abweichungen, welche für Messungen mit der Bussole schon schlimm genug sind, kommen die noch schlimmeren magnetischen Störungen oder diejenigen Abweichungen der Magnet-

Fig. 167.

nadel, welche ihrer täglichen Aenderung widersprechen und mit dem Stande der Sonne in keiner Beziehung stehen, wohl aber mit öfter wiederkehrenden Naturerscheinungen (z. B. Nordlichtern) oder grösseren Elementarereignissen (wie Erdbeben, vulcanischen Ausbrüchen etc.) zusammenhängen. Diese

nessen.

klassen Schwankungen der-

Eine solche Störung stellt  
ationsänderungen in Claus-  
1847: die Linie A B gilt als  
derselben sind die östlichen,  
el als Ordinaten aufgetragen.

20 Minuten betrug  $1^{\circ} 40'$ .  
an die Bussoleninstrumente  
1, und dass es folglich Ver-  
ren Bau zu verwenden, als  
agnetnadel bestimmen lässt,  
hnitte auf etwa 15 Minuten  
as man bei stattfindenden  
tern der Nadel kundgeben,  
Messungen mit der Bussole  
beschränkt sind, sondern  
ngen gegen die Mittagslinie

e, welche auch der Feld-  
rei Theilen: dem Compass,  
dem Diopter und dem Ge-  
stelle. Fig. 168 stellt die  
Ertel'sche Feldbussole vor.

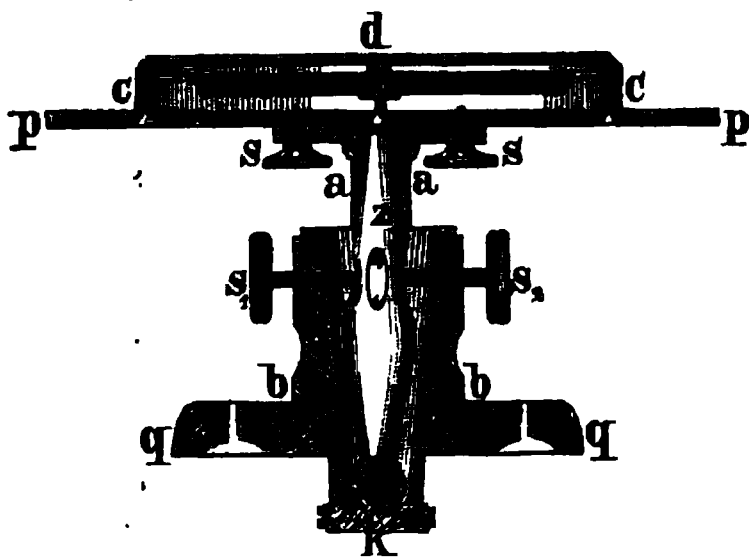
Der Compass. Ein  
cylindrisches Gehäus (c)  
von 12<sup>cm</sup> oder 4 Zoll  
Durchmesser und 1,5<sup>cm</sup>  
oder 0,5 Zoll Höhe ist auf  
einer ebenen Platte (p)  
von Messing befestigt. In  
der Mitte des Gehäuses  
erhebt sich ein spitziger  
Stahlstift und auf diesem  
ruht mittels eines Carneol-  
hütchens die Magnetnadel  
(n). In der Ebene des  
Oberrandes dieser Nadel  
liegt senkrecht gegen die  
innere Wand des Gehäuses  
der Grading, welcher in  
360 Grad eingetheilt ist.  
nach rechts wie auf dem  
ten halbe und viertel Grade

genau genug geschätzt werden. Die Nadel und der getheilte Ring sind durch eine zu diesem parallele und in dem Gehäuse durch einen eingesprengten Ring festgehaltene Glasscheibe (d) gegen Beschädigung geschützt. Wenn die Nadel nicht gebraucht wird, so kann sie zur Schonung ihres Drehpunkts mit Hilfe eines Hebels (e), wenn er durch das Schraubchen i niedergedrückt wird, von der Stahlspitze abgehoben und an die Glasscheibe sanft angedrückt werden; dreht man die Schraube i zurück, so schwebt die Nadel wieder auf dem Stifte. Das Abheben der Nadel geschieht durch eine kleine Hülse, welche den Stift centrisch umgibt und an dem inneren Hebelende befestigt ist. Diese Vorrichtung nennt man die Arretirung der Bussole.

Das Diopter. Man wendet an Bussolen selten oder nie ein Fernrohr mit Fadenkreuz an, weil ein Diopter hinreichende Genauigkeit gewährt. Hier sind zwei Diopter in entgegengesetzten Richtungen angebracht: mit dem oberen wird von  $f$  nach  $f'$  und mit dem unteren von  $f'$  nach  $f$  visirt; die beiden Visirrichtungen sollen in einer Ebene liegen, welche zum Gradringe senkrecht steht und durch dessen Mittelpunkt geht. Da wo diese gemeinschaftliche Visirebene den Gradringschneidet, befinden sich die Eintheilungszeichen  $0^0$  und  $180^0$ , während ihr Schnitt auf der Bodenplatte des Gehäuses mit N S bezeichnet ist, wobei N an  $0^0$  und S an  $180^0$  liegt. Die Diopterflügel  $f$  und  $f'$  können, wie die Figur zeigt, um Scharniere auf dem Compass niedergelegt werden. An einigen Bussolen befindet sich das Diopter ausserhalb des Compasses; von dieser Einrichtung ist später (§. 137) die Rede.

Das Gestell ist ähnlich wie das des Messtisches eingerichtet, soweit es die Beine und deren Verbindung mit der Kopfplatte (q), welche hier von Metall ist, angeht. Was aber die Horizontal- und Verticalbewegungen, die dasselbe gestatten muss, betrifft, so werden diese an einem Zapfen (z) ausgeführt, welcher (nach dem Durchschnitte in Fig. 169) sich in einer mit der Kopfplatte festverbundenen Büchse (b) auf einer Kugel (k) dreht, wenn ihm die vier durch die Büchse gesteckten und auf ihn drückenden Stellschrauben ( $s_1, s_2, s_3, s_4$ ) Spielraum gewähren. Man begreift leicht, wie sich der Zapfen z durch die Schrauben  $s_1$  und  $s_2$  in der Richtung  $s_1 s_2$  und durch  $s_3$  und  $s_4$  in einer hierauf senkrecht stehenden Ebene hin und her bewegen und schliesslich feststellen lässt. Ist nun der Compass mit dem Zapfen senkrecht verbunden, so theilt der erstere offenbar die Bewegungen des letzteren und es steht jener horizontal, wenn dieser vertical ist. Die Drehung des Compasses im wagrechten Sinne ist durch den hohlen

Fig. 169.



### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

(a) möglich, welcher das obere Ende des Zapfens centrisch umgibt, in dessen Grundplatte, die Compassplatte, durch Schrauben (s, s) gesichert ist.

134. Gebrauch. Um mit der Busssole einen auf dem Felde abgelesenen Winkel ( $\angle cr$ ) zu messen, stelle man das Instrument über dem Punkt (c) so auf, dass der Stift der Nadel in dem Lothe des Scheitels (was durch einen Senkel leicht bewirkt werden kann) und bringe die Nadel des Gradrings durch die auf den Verticalzapfen wirkenden Stellrauben in eine horizontale Lage. Man könnte zu dem Ende auf dem Instrument eine Dosenlibelle aufsetzen; es genügt aber auch, die Busssole so zu bringen, dass die beiden Nadelspitzen in der Ebene des Gradrings bleiben, wenn dieser im Kreise gedreht wird. Denn da die fehlerhafte Nadel horizontal schwebt, so ist auch der Gradring horizontal, wenn in ihm zwei sich schneidenden Richtungen in der Ebene der Nadel liegen. Nach dieser Vorbereitung stelle man das Diopter zuerst auf den linken Schenkel (c l) genau ein und mache an der nördlichen Nadelspitze, nach dem Einrichten des Diopters, eine Ablesung  $a'$  und an der südlichen die Ablesung  $b'$ . Hierauf drehe man das Diopter auf den rechten Schenkel (c r), stelle es wieder genau ein und lese an beiden Enden ab: die Ablesung sei an dem Nordende  $a''$  und an dem Südende  $b''$ . Stellt die Nadel genau einen Durchmesser des Gradrings vor und ist die Theilung richtig, so werden die Ablesungen an dem Südende der einen Theilung um  $180^\circ$  von denen am Nordende verschieden sein, in der Art, dass  $80^\circ + a'$  und  $b'' = 180^\circ + a''$  ist. Ist aber die Nadel kein Durchmesser des Kreises, d. h. geht die Verbindungslinie ihrer Endpunkte nicht durch den Mittelpunkt der Theilung, so werden die Ablesungen  $a'$ ,  $b'$  und  $a''$ ,  $b''$  um etwas mehr oder weniger als  $180^\circ$  verschieden sein. Umgekehrt deutet diese Verschiedenheit bei richtiger Theilung des Kreises darauf hin, dass die Nadel kein Durchmesser, sondern eine Sehne ist. Den senkrechten Abstand dieser Sehne von dem Mittelpunkte der Theilung nennt man die Excentricität der Nadel. Durch die Ablesungen an den beiden Enden der Nadel wird der Einfluss der Excentricität auf die Neigungswinkel der Visirlinien gegen den magnetischen Meridian beseitigt. Darin liegt der Grund der doppelten Ablesung; der andere aber ist, dass man eine mögliche Irrung in der ersten Ablesung sofort durch die zweite gewahrt, wenn der Unterschied beider nicht genau oder doch sehr nahe  $180^\circ$

Fig. 170.



aus den Ablesungen  $a'$  und  $a''$  den richtigen Winkel  $\angle cr = w$  zu erhalten — ein fehlerfreies Instrument vorausgesetzt — hat man zu beach-

ten, ob beide Winkelschenkel auf einer Seite der Nadel sich befinden, oder ob der eine links und der andere rechts von ihr liegt. In dem ersteren Falle ist der gesuchte Winkel

$$w = a' - a'' \quad (89)$$

und in dem zweiten Falle, wo die erste Ablesung ( $a'$ ) kleiner ist als die letzte ( $a''$ ):

$$w' = 360^\circ + a' - a''. \quad (90)$$

Daran, dass  $a'' > a'$ , kann man allein schon erkennen, dass die Visirlinie beim Uebergange vom linken zum rechten Schenkel den Nordpunkt der Nadel überschritten hat.

Die Richtigkeit der vorstehenden zwei Gleichungen lässt sich wie folgt beweisen. Für den zu messenden Winkel  $w$  ist die Ablesung für den linken Schenkel  $= \text{arc } l n = a'$  und für den rechten Schenkel  $= \text{arc } r n = a''$ , folglich das Mass des gesuchten Winkels  $w = \text{arc } l r = \text{arc } l n - \text{arc } r n = a' - a''$ . Wäre  $l' c r'$  der zu messende Winkel, so würde  $a' = \text{arc } l' s n$  und  $a'' = \text{arc } r' s n$ , mithin auch  $\text{arc } l' r' = \text{arc } l' s n - \text{arc } r' s n = a' - a''$  das Mass des Winkels  $w$  sein. Hätte man endlich den Winkel  $r c l' = w'$  zu messen, so wäre  $a' = \text{arc } r n$ ,  $a'' = \text{arc } l' s n$  und folglich, da  $\text{arc } r n l'$ , das Mass des gesuchten Winkels, gleich  $\text{arc } r n + \text{arc } n l'$  und  $\text{arc } n l' = 360^\circ - a''$  ist,  $w' = a' + 360^\circ - a'' = 360^\circ + a' - a''$ , w. z. b. w.

Obige Gleichungen enthalten folgende Regel: Aus den Ablesungen  $a$ , und  $a''$ , welche beziehlich für den linken und rechten Schenkel eines Winkels gemacht werden, erhält man die Grösse dieses Winkels in Graden, wenn man die zweite Ablesung von der ersten abzieht und in dem Falle, dass die Differenz negativ wird,  $360^\circ$  zu ihr addirt.

Sollte eine Excentricität der Nadel stattfinden (was, wie schon bemerkt, die Ablesungen am Süd- und Nordende sofort kundgeben), so hat dieselbe dann keinen Einfluss auf die Messung des Winkels zweier gegebenen Richtungen und auf die Neigung jedes einzelnen Schenkels gegen den magnetischen oder geographischen Meridian, wenn bei jeder Richtungsbeobachtung an den beiden Enden der Magnetnadel abgelesen und aus den Winkeln  $w' = a' - a''$  und  $w'' = b' - b''$  das arithmetische Mittel genommen wird, wie in §. 138 nachgewiesen ist.

Es bedarf wohl kaum der Erinnerung, dass bei dem Gebrauche der Bussole alle eisernen oder eisenhaltigen Gegenstände aus ihrer Nähe so weit entfernt werden müssen, dass keine Ablenkung der Nadel von ihrem Meridian zu fürchten ist.

**§. 135. Prüfung und Berichtigung.** Die Prüfungen, denen die Bussole vor ihrem Gebrauche zu unterwerfen ist, lassen sich in zwei Classen abtheilen: in die erste gehören jene, welche ein für allemal vorgenommen werden, und in die zweite diejenigen, welche vor jeder Anwendung der Bussole zu wiederholen sind. Zur ersten Classe rechnen wir folgende vier Untersuchungen:

- 1) ob der Gradring richtig eingetheilt ist,

- 2) ob das Gehäus keine auf die Nadel wirkende Metalle enthält,
- 3) ob die Gehäusplatte zum Centralzapfen senkrecht steht, und
- 4) ob die Axe dieses Zapfens durch den Nadelstift geht.

Die Nothwendigkeit der beiden ersten Prüfungen stellt sich von selbst dar, und was die dritte betrifft, so lehrt eine einfache Betrachtung, dass sie für die Horizontalstellung des Gradrings durchaus erforderlich ist.

Zu 1. Bei der Bussole, die doch nur eine geringe Genauigkeit gewährt, genügt es, wenn man sich mit Hilfe eines guten Zirkels überzeugt, dass keine groben Theilungsfehler vorhanden sind. Zu dem Ende kann man nach Wegnahme des Glasdeckels etwa 5 Grade der Theilung an einer beliebigen Stelle in den Zirkel nehmen und zusehen, ob zu je 5 anderen Graden derselbe Bogen gehört, und ob 72 solche Bögen den ganzen Kreis genau darstellen oder nicht. Hält die Theilung diese Probe aus, so wiederhole man dasselbe Verfahren mit der gleichen Zirkelöffnung noch viermal, gehe aber dabei immer von einem neuen Theilstriche aus, der gegen den vorigen um einen Grad absteht. Zeigt sich auch hier kein Fehler, so kann man sich mit der Theilung des Gradrings vollständig begnügen; sollten sich jedoch Unrichtigkeiten in der Eintheilung herausstellen, so müssten diese, falls sie nicht zu gross sind und den Ring unbrauchbar machen, angemerkt werden, um bei Messungen die gehörige Rücksicht darauf nehmen zu können. Indessen werden Bussolen, die aus guten mechanischen Werkstätten bezogen werden, kaum jemals einen schädlichen Theilungsfehler haben, da erstens die Theilung mit Maschinen geschieht, welche für viel feinere Theilungen als die der Compassringe bestimmt sind, und zweitens der Ruf jener Werkstätten erfordert, dass die von ihnen ausgehenden Instrumente vor ihrer Absendung genau untersucht und nöthigenfalls ausgeschossen werden.

Zu 2. Die zweite Untersuchung besteht darin, dass man das Gehäus der Nadel ganz ruhig und langsam um seine Axe dreht und beobachtet, ob die Nadel fortwährend ihre Richtung beibehält, oder ob sie stellenweise sich von dem Gehäuse mit fort- und niederziehen lässt. Sollte sich dieses Ziehen nach wiederholten Versuchen bestätigen, so kann es nur von einer Verunreinigung des Messings durch Eisen oder ein anderes auf die Nadel wirkendes Metall (z. B. Nickel) herrühren und es muss, je nachdem ein Fort- oder Niederziehen stattfindet, die Büchse oder die Bodenplatte des Gehäuses von besserem Metall angefertigt werden. Eine Abänderung dieser Untersuchung besteht darin, dass man die Nadel abhebt und auf eine feine Spitze ausserhalb des Gehäuses legt, dieses selbst aber ringsum an der Nadel vorüberführt und zusieht, ob diese ihre Lage ändert oder nicht.

Zu 3. Man stelle die Ebene des Gradrings dadurch horizontal, dass man eine berichtigte Dosenlibelle auf den Glasdeckel aufsetzt und durch die vier Stellschrauben ( $s_1$  bis  $s_4$ ), welche auf den Centralzapfen wirken, zum Einspielen bringt. Hierauf drehe man die Bussolenplatte sammt der Libelle langsam um den Zapfen und sehe zu, ob die Libelle fortwährend einspielt oder nicht: in dem ersteren Falle ist die geforderte senkrechte Lage



vorhanden, in dem letzteren aber nicht. Will man die Abweichung ( $f$ ) von der senkrechten Lage nach einer beliebigen Richtung (etwa nach der durch  $0^\circ$  und  $180^\circ$  oder durch N S bezeichneten) kennen lernen, so drehe man das horizontal gestellte Bussolengehäus genau um  $180^\circ$  und beobachte den Ausschlag der Libellenblase in der gegebenen Richtung: die Grösse dieses Ausschlags misst alsdann die doppelte Abweichung von  $90^\circ$  und seine Lage zeigt an, auf welcher Seite des Zapfens der spitze und der stumpfe Neigungswinkel liegen. Denn denkt man sich unter  $b p$  (Fig. 171) einen Schnitt der wagrecht gestellten Bodenplatte nach einer beliebigen Richtung, und unter  $c z$  die Axe des Centralzapfens, so wird, wenn der Winkel  $b c z = 90^\circ - f$  ist, also die Abweichung  $f$  stattfindet, nach einer Drehung der Platte um  $180^\circ$  die Linie  $b p$  in die Lage  $b' p'$  übergehen, welche mit der Horizontalen  $b p$  einen Winkel  $b c p' = 2 f$  einschliesst, weil  $p' c z = p c z = 90^\circ + f$  und  $b c p' = p' c z - b c z = 90^\circ + f - (90^\circ - f)$  ist. Dieser Winkel  $2 f$  wird durch den Ausschlag der Luftblase gemessen, während die Seite, auf welcher die Blase steht, auch die Seite des stumpfen Neigungswinkels ( $p' c z$ ) ist.

Wenn sich der eben besprochene Fehler an einer Bussole in dem Masse herausstellt, dass er berücksichtigt werden muss, so kann nur entweder durch Abschleifen der Wendescheibe des Stativs oder durch ringförmige Scheibchen, welche man um die Spindeln der Schraubchen  $s, s$  und zwischen die durch sie verbundenen Platten legt, geholfen werden.

Zu 4. Wenn der die Nadel tragende Stift zwar im Mittelpunkte des Gradrings steht, aber nicht mit der verlängerten Zapfenaxe zusammenfällt, so übt die Excentricität des Zapfens  $z$  offenbar einen nachtheiligen Einfluss auf das Resultat der Winkelmessung aus, und dieser Einfluss muss, wenn er auch nie bedeutend werden kann, doch möglichst vermieden werden. Um zu erfahren, ob eine Excentricität des Zapfens stattfindet, hebe man den Glasdeckel der Bussole aus seiner Fassung, stecke einen hohlen Stift  $a b c$  (Fig. 172) centrirt auf den Nadelstift, visire damit, bei horizontaler Lage des Gradrings, zwei entfernte Stäbe  $A$  und  $B$  in eine Gerade  $A B c$  ein (Fig. 173), drehe hierauf die Bussole rechts und links um

Fig. 171.

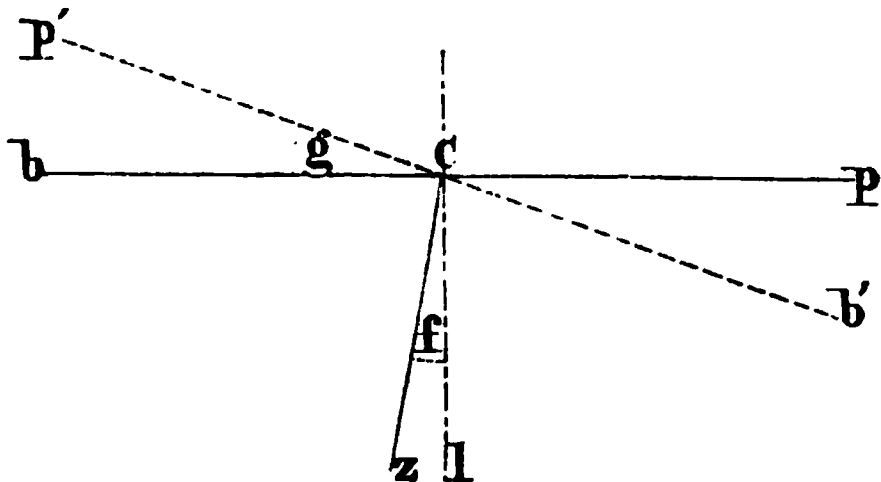
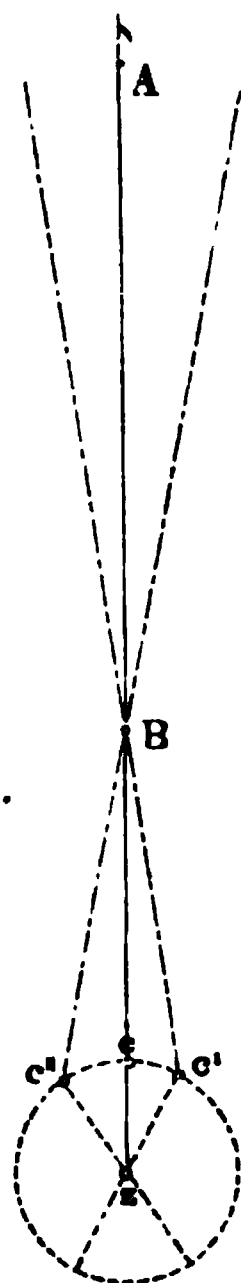


Fig. 173.

Fig. 172.



den Zapfen und sehe zu, ob der Aufsatzstift in der Geraden  $AB$  bleibt oder nicht: geht dieser aus der Geraden heraus (nach  $c'$ ,  $c''$ ), so ist eine Excentricität des Zapfens vorhanden, und es lässt sich deren Grösse und Richtung leicht beurtheilen, der vorhandene Fehler kann aber nur durch den Mechaniker beseitigt werden, der die Verbindung der Bodenplatte der Bussole mit der Wendeplatte des Stativs zu verbessern hat. (Die Grösse des aus einer Excentricität des Zapfens  $cz = e$  entspringenden Winkelfehlers  $f$  wird in §. 136 berechnet.)

Zur Classe derjenigen Untersuchungen einer Bussole, welche von Zeit zu Zeit wiederholt werden müssen, gehören folgende:

- 1) ob die Nadel wagrecht schwebt;
- 2) ob sie keine Excentricität besitzt;
- 3) ob dieselbe empfindlich genug ist;
- 4) ob die Visirebenen richtig stehen.

Zu 1. Man stelle auf die früher angegebene Weise mit einer Dosenlibelle, welche auf den Glasdeckel der Bussole gesetzt wird, diesen Deckel und damit auch die ihm parallele Ebene des Gradrings horizontal: zeigt sich hierbei, dass die Enden der Nadel in der Ebene des Rings liegen, so kann man diese selbst als wagrecht schwebend betrachten; erhebt sich aber ein Ende über den Ring, so muss die Hälfte der Nadel, welcher dieses Ende angehört, durch etwas Wachs, das man unten anklebt, mit der anderen Hälfte so in's Gleichgewicht gebracht werden, dass beide Hälften horizontal liegen.

Zu 2. Von dem Einflusse der Excentricität auf die Winkelmessung und dessen Beseitigung war bereits im vorigen Paragraph die Rede, weshalb wir hier mit der Bemerkung darauf verweisen, dass man eine Verbesserung der Excentricität in der Regel nicht vorzunehmen pflegt. Ueber die Grösse der Fehler, welche aus den bei einer Bussole möglichen Excentricitäten entspringen, geben die §§. 136 bis 138 Rechenschaft.

Zu 3. Um die Empfindlichkeit der Magnetnadel zu prüfen, stelle man das Gehäus wagrecht und lese bei ruhigem Stande derselben auf dem Gradringe ab. Hierauf bringe man, ohne an dem Instrumente das Geringste zu ändern, die Nadel durch Näherung eines Eisenstücks, das vorher entfernt lag, in Bewegung, und sehe zu, ob sie nach der Entfernung des Eisens und der Vollendung ihrer Schwingungen genau auf die frühere Stelle wieder zurückkehrt. Thut sie dieses nach wiederholten Versuchen, so ist sie empfindlich genug; wo nicht, so ist entweder der Stift, worauf sie schwebt, abgestumpft und daher zuzuschleifen, oder es hat sich die magnetische Kraft der Nadel vermindert und ist dieselbe durch Streichen mit einem Magnet wieder zu vermehren.

Zu 4. Die richtige Stellung der Visirebenen verlangt zunächst, dass diese entweder mit dem Durchmesser  $0^\circ - 180^\circ$  coincidiren oder demselben doch parallel sind, und dann, dass diese Ebenen auf der Ebene des Gradrings, welche als Instrumentenebene gilt, senkrecht stehen.

Die Forderung der parallelen Richtung der Visirebenen und des Durchmessers, welcher durch den Nullpunkt der Theilung geht, würde nicht nöthig sein, wenn die Bussole bloss dazu diente, den Winkel zweier gegebenen Richtungen aus deren Neigung gegen den magnetischen Meridian zu finden; denn obwohl jeder dieser Neigungswinkel mit einem Fehler behaftet ist, welcher dem Winkel ( $f$ ) des Durchmessers  $0^0 - 180^0$  gegen die Visirebene gleichkommt, so gibt doch ihr Unterschied den gesuchten Winkel richtig, weil der Minuend und der Subtrahend in gleichem Sinne um gleichviel zu gross oder zu klein sind. Dagegen bleibt der Neigungswinkel einer Linie und die Orientirung einer Aufnahme gegen den magnetischen Meridian um  $\pm f$  fehlerhaft, so lange die verlangte Paralleleitt nicht stattfindet.

Die weitere Forderung, dass die Visirebenen auf der Instrumentenebene senkrecht stehen, also lothrecht sind, sobald diese wagrecht ist, wird dadurch gerechtfertigt, dass nur unter dieser Bedingung die in schiefen Ebenen liegenden Winkelschenkel richtig auf die Horizontalebene des Instruments und, wenn die vorausgehende Forderung erfüllt ist, in die Richtung des durch Null gelegten Durchmessers projicirt werden. Ob die Visirebenen gegen die Instrumentenebene senkrecht stehen, untersucht man bei horizontal gestellter Büchse auf die in §. 26 angegebene Weise; und wenn Berichtigungen nöthig werden, so kann man sie nach der ebendasselbst gegebenen Anweisung vornehmen. Was aber die Stellung der Visirebenen gegen den Durchmesser  $0^0 - 180^0$  betrifft, so lässt sich dieselbe wie folgt kennen lernen.

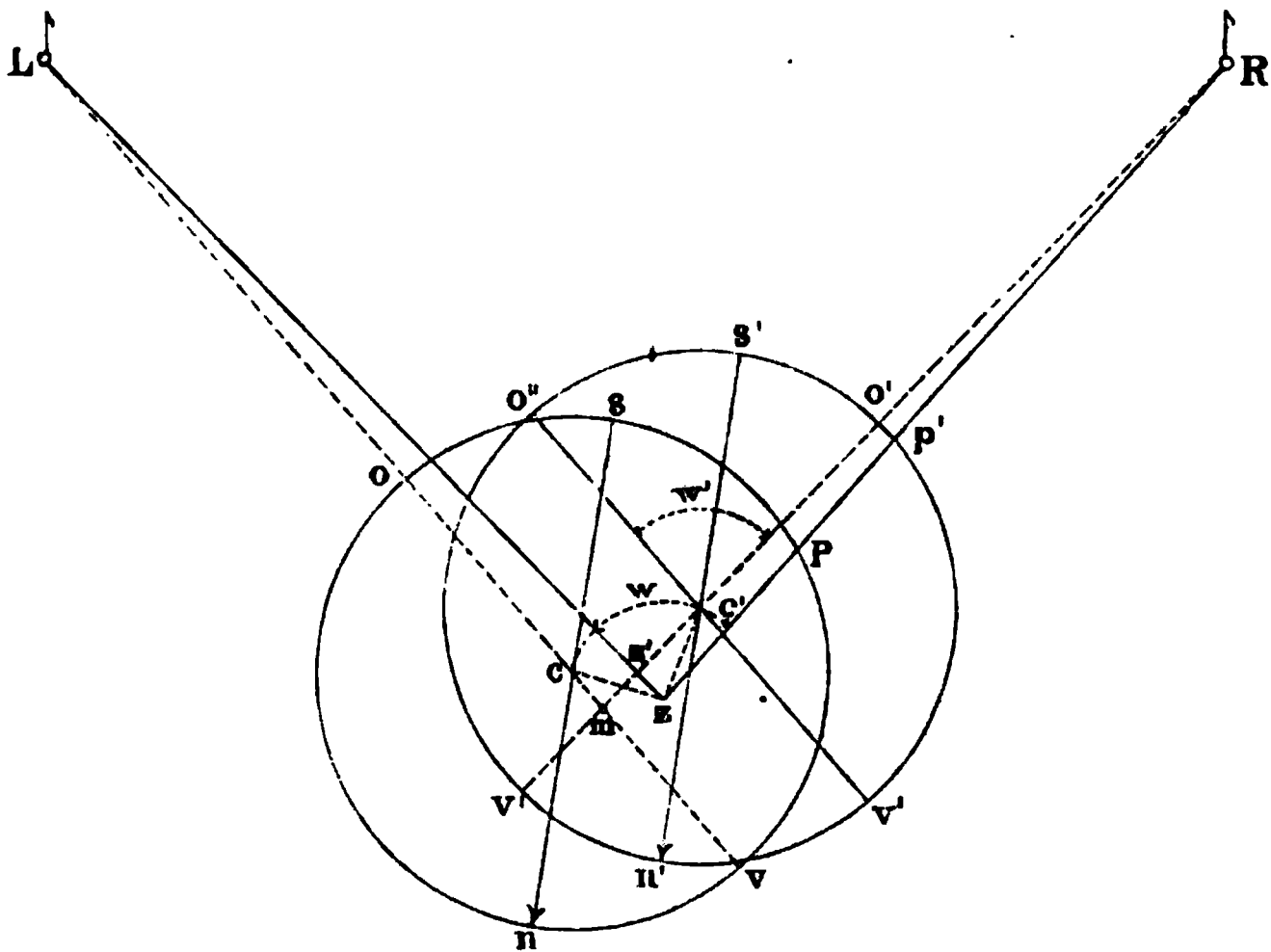
Man spanne über die Büchse einen Faden, der die Theilpunkte  $90^0$  und  $270^0$ , also auch den mit O W bezeichneten Durchmesser genau deckt; stelle das Instrument horizontal und drehe die Büchse so lange im Kreise, bis der ausgespannte Faden in die von einem etwa 50 bis 60 Meter entfernten Gegenstande und der Gehusaxe bestimmte Richtung kommt; hierauf lese man den Stand der Nadel (am Nordende) ab und drehe die Büchse, bis die von S nach N laufende Visirebene den entfernten Gegenstand deckt; schliesslich lese man an demselben Ende der Nadel wie vorhin ab und bestimme aus den beiden Ablesungen den Drehwinkel. Ist dieser  $= 90^0$ , so ist die Visirebene dem Durchmesser  $0^0 - 180^0$ , welcher auf dem durch  $90^0$  und  $270^0$  gehenden senkrecht steht, parallel; ausserdem zeigt die Abweichung von  $90^0$  den gesuchten Fehler  $f$  an, welcher nach §. 26 durch Verschiebung der Ocularspalte zu verbessern ist. Dreht man in dem vorigen Sinne die Bussole weiter und stellt die zweite Visirebene N S auf den entfernten Gegenstand ein, so wird die Ablesung am Nordende der Nadel lehren, ob die beiden Visirebenen mit einander parallel sind, oder wie die zweite gegen den Durchmesser  $0^0 - 180^0$  steht. Wenn nämlich der Unterschied der beiden letzten Ablesungen gerade  $180^0$  beträgt, so sind die Visirebenen parallel und ihre Neigungen gegen die Richtung  $0^0 - 180^0$  gleich; ist aber dieser Unterschied grösser oder kleiner als  $180^0$ , so bilden dieselben einen diesem Unterschied entsprechenden Winkel mit einander und es kann dar-

aus leicht auf die Stellung der zweiten Visirebene gegen den Durchmesser  $0^0-180^0$  geschlossen werden. Eine für nöthig erachtete Verbesserung der Richtung dieser zweiten Ebene wird selbstverständlich wie bei der ersten vorgenommen.

Ein anderes Verfahren für die Prüfung Nr. 4 ist das folgende, bei welchem angenommen wird, dass für den Beobachtungsort die Mittagslinie und für die Beobachtungszeit die magnetische Abweichung gegeben sei. Man stelle das Instrument horizontal, drehe das Diopter in die Mittagslinie und lese die Abweichung der Nadel am Nordende ab. Stimmt die Ablesung mit der gegebenen magnetischen Abweichung, so ist die Linie  $0^0-180^0$  mit der Visirebene parallel, ausserdem aber nicht.

§. 136. **Excentricität des Zapfens.** Es sei nach Fig. 174 der Winkel  $LZR = w$  zu messen und die Bussole centrisch und horizontal über dem

Fig. 174.



Scheitel Z des Winkels aufgestellt. Nach der Einstellung auf L sei  $zc$  die vorhandene Excentricität,  $ocv$  die Visirlinie,  $scn$  der magnetische Meridian, und der constante Winkel  $zco = \varepsilon$  bezeichne die Lage der Excentricität  $e$  gegen die Visirlinie. Die Ablesung am Nordende der Nadel ist somit

$$a' = \text{arc } opn.$$

Um auf R einzustellen, muss die Bussole um den Zapfen so weit gedreht werden, dass die Visirlinie  $ocv$  durch R geht, also in die Lage  $o'c'v'$  kommt. Diese Linie hat hierbei einen Winkel  $om o' = o''c'o' = w'$  beschrieben und der Winkel  $\varepsilon$  ist jetzt durch  $zc'o'$  vorgestellt. Die Ablesung am Nordende der mit ihrer ersten Lage parallelen Nadel ist

$$a'' = \text{arc } o'p'n'.$$

Es lässt sich leicht einsehen, dass  $o''p'n' = opn$  ist; denn  $s'n'$  ist

aus natürlichen Gründen der  $sn$  parallel und  $o'' c'$  kann bei der Drehung seine feste Lage  $o'' c' s' = o c s$  gegen den magnetischen Meridian nicht ändern. Es ist somit

$$w' = a' - a''$$

und der Einfluss der Zapfenexcentricität beträgt  $w - w'$ . Nun ist aber nach der Figur der Aussenwinkel  $L z' R = w + \varrho = w' + \lambda$ , folglich

$$f = w - w' = \lambda - \varrho.$$

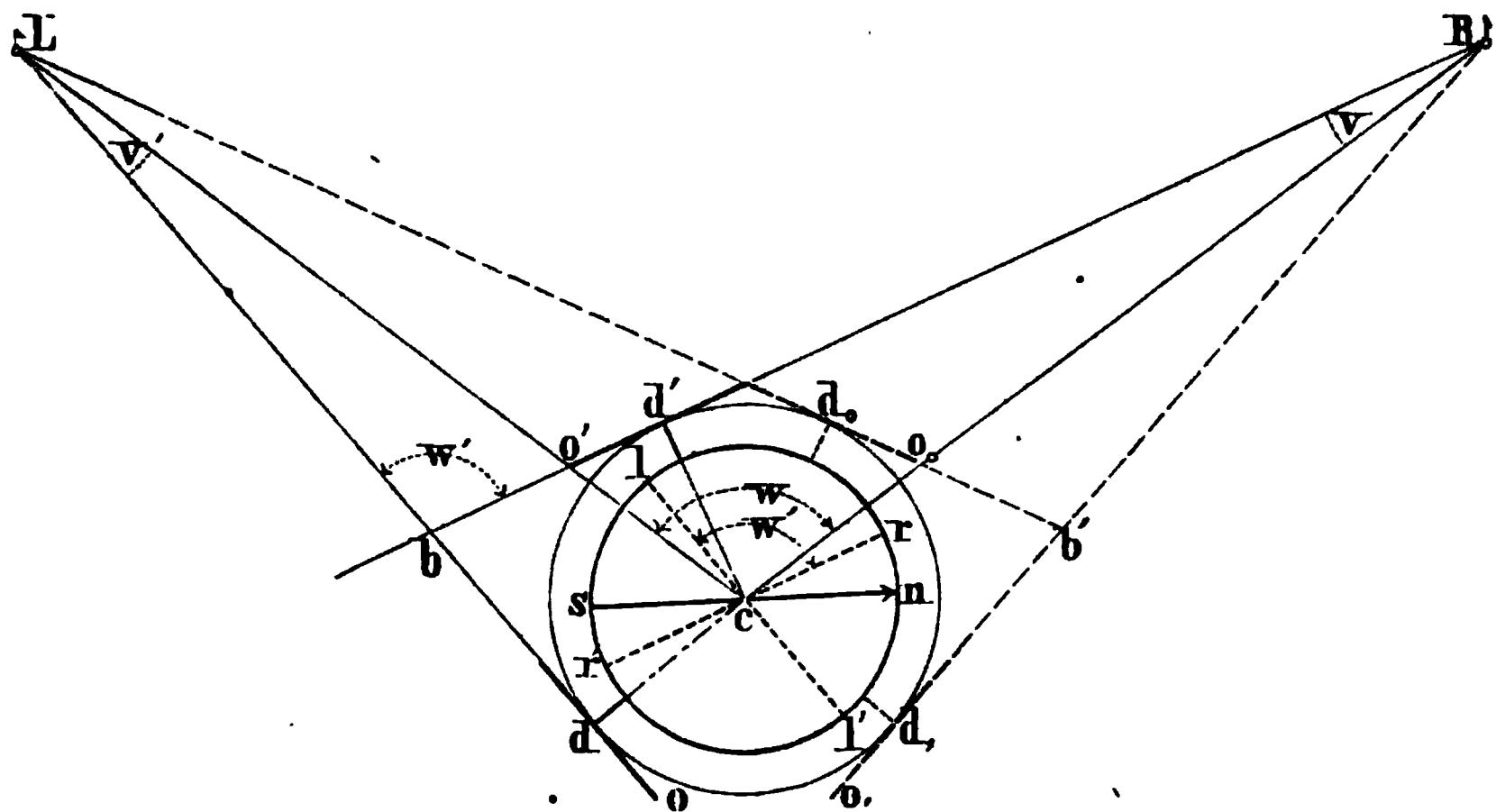
Man findet nun sehr leicht  $\lambda$  aus der Gleichung  $l \sin \lambda = e \sin \varepsilon$  und  $\varrho$  aus  $r \sin \varrho = e \sin \varepsilon$ , wobei  $l$  und  $r$  die Winkelschenkel  $ZL$  und  $ZR$  vorstellen. Es ist somit schliesslich

$$f = \frac{e \sin \varepsilon}{\sin 1''} \left( \frac{1}{l} - \frac{1}{r} \right) \quad (91)$$

Wäre nun  $e = 1^{\text{mm}}$ ,  $r = 2l = 20^{\text{m}}, 626$  und  $\varepsilon = 90^\circ$ , so fände man  $f = 10''$ , also für eine Messung mit der Bussole sehr unbedeutend.

§. 137. Excentricität der Visirlinie. Es wurde bereits früher (§. 133) erwähnt, dass es Bussolen gibt, deren Diopter ausserhalb des Nadelgehäuses

Fig. 175.



angebracht ist. Von einer solchen Bussole hat man eine richtige Vorstellung, wenn man sich an der in Fig. 168 abgebildeten die Diopterflügel  $f$  und  $f'$  weggenommen und dafür, der durch sie bestimmten Visirrichtung parallel, an der Büchse bei  $C$  ein anderes Diopter angebracht denkt. Wir wollen annehmen, dass dieses Diopter aus einem Messingrohre bestehe, welches an dem einen Ende eine kleine runde Ocularöffnung und an dem anderen Ende ein Fadenkreuz enthält. In der beigedruckten Fig. 175 stelle  $od$  die Visirlinie des Diopters,  $l r r' l'$  den Gradring,  $ns$  die Nadel und  $l l'$  den durch den Anfangspunkt der Theilung gehenden Durchmesser  $0^\circ - 180^\circ$ , womit die Visirlinie parallel sein muss, vor.

Soll mit dieser Bussole ein Winkel  $L c R = w$  gemessen werden, so

stelle man das Instrument centriscb über den Scheitel  $c$  und mache den Gradrings horizontal wie früher. Hierauf richte man das Diopter ( $o d$ ) auf das Signal  $L$  im linken Schenkel und lese am Nordende der Nadel den Bogen  $l n = a'$  ab. Dann stelle man das Diopter in der Richtung  $o' d'$  auf das zweite Signal  $R$  ein und lese bei  $n$  den Bogen  $r n = a''$  ab. Der Unterschied  $a' - a''$  der beiden Ablesungen misst offenbar den Winkel  $l c r = d c d' = L b R = w'$ , aber nicht unmittelbar den gesuchten Winkel  $w$ . Wollte man  $w'$  für  $w$  nehmen, so würde man einen Fehler in die Messung bringen, welcher dem Unterschiede  $w' - w$  dieser zwei Winkel gleich wäre.

Es fragt sich nun, wie man mit Hilfe von  $w'$  den Winkel  $w$  finden kann. Nach der Figur ist der Aussenwinkel  $L o' R = w + v = w' + v'$ , mithin auch

$$w = w' + v' - v \quad (92)$$

Die Winkel  $v$  und  $v'$  sind jedenfalls sehr klein, da sie von den Winkelschenkeln  $c R = l$  und  $c L = l'$  und der Entfernung  $c d = c d' = e$ , welche die Excentricität der Visirlinie oder des Diopters heisst, abhängen, jene aber gegen diese sehr gross sind. Man kann deshalb die Sinuse von  $v$  und  $v'$  ihren Bögen proportional und somit

$$v = 206265'' \cdot \frac{e}{l}$$

$$v' = 206265'' \cdot \frac{e}{l'}$$

setzen. Diese Werthe von  $v$  und  $v'$  in obige Gleichung gesetzt, wird

$$w = w' + 206265'' \cdot e \left( \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} \right) \quad (93)$$

$$w - w' = 206265'' \cdot e \left( \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} \right) \quad (94)$$

Die erste dieser zwei Gleichungen lehrt, wie man  $w$  aus  $w'$ , der Excentricität  $e$  und den Längen der Winkelschenkel finden kann, während die zweite den Einfluss der Excentricität der Visirlinie auf die Messung eines Winkels zeigt. Aus beiden aber erkennt man, dass dieser Einfluss null wird, wenn die Winkelschenkel gleich lang sind, und dass er mit der Differenz dieser Längen so wie mit der Excentricität ( $e$ ) selbst wächst. Für  $e = 0',4$ ,  $l' = 100'$  und  $l = 200'$  wird  $w - w' = 412,5 \text{ Sec.} = 6,9 \text{ Minuten}$ .

Will man den Einfluss der Excentricität der Visirlinie auf die Winkelmessung, welcher oft sehr gross werden kann, beseitigen, so kann dieses durch eine zweite Messung des Winkels geschehen, nachdem man vorher das Diopter durchgeschlagen, d. h. in die entgegengesetzte Richtung gedreht hat, ohne an dem Stande des Gestells das Geringste zu ändern. Unter dieser Voraussetzung liefert die zweite (nach der Anleitung zur ersten vorzunehmende) Messung den Winkel

$$w = w'' - v' + v \quad (95)$$

worin  $w''$  die Differenz der beiden Ablesungen  $\alpha'$  und  $\alpha''$ , welche an dem Nordende der Nadel gemacht wurden, vorstellt. Addirt man diese Gleichung zu der mit (92) bezeichneten, so folgt aus beiden der gesuchte Winkel

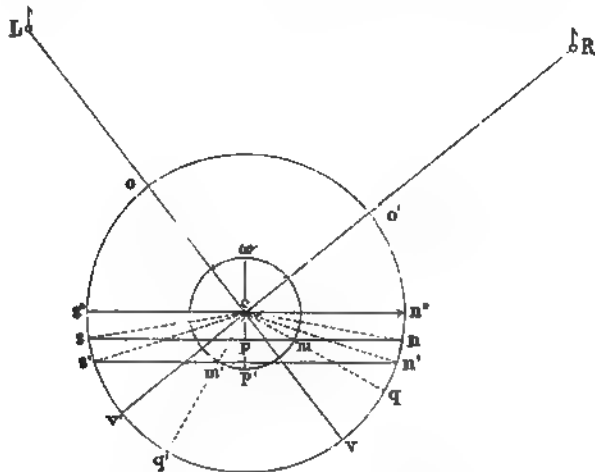
$$w = \frac{1}{2} (w' + w'')$$

d. h. man findet mit einer Busssole, deren Visirlinie eine Excentricität besitzt, die wahre Grösse eines Winkels aus dem arithmetischen Mittel zweier Messungen, von denen die letztere mit durchgeschlagenem Diopter vorgenommen wurde.

Es versteht sich von selbst, dass der Einfluss der Excentricität der Visirlinie, wenn diese an einem Instrumente nicht absichtlich, sondern zufällig vorhanden ist, wie es z. B. an der in Fig. 168 abgebildeten Busssole der Fall sein kann, ebenfalls nach der Gleichung (94) berechnet wird. Es ist aber auch klar, dass in einem solchen Falle, wo  $e$  ausserordentlich klein ist, die Grösse dieses Einflusses auf einen gemessenen Winkel so wenig beträgt, dass sie weit innerhalb der Grenzen der Genauigkeit einer Busssole liegt und daher wohl immer vernachlässigt werden kann.

§. 138. Excentricität der Nadel. Wir nehmen jetzt an, die Axe des Zapfens und die Visirebene gehen durch den Mittelpunkt  $c$  des Gradrings, der Nadelstift aber stehe um eine kleine Grösse  $cm = e$  ausserhalb jenes Mittelpunkts. Der Einfluss einer solchen Excentricität der Nadel auf einen zu messenden Winkel  $L c R$  (Fig. 176) lässt sich wie folgt berechnen.

Fig. 176.



Bei der Einstellung auf den linken Schenkel  $L$  steht die Nadel in  $m$  und hat die Richtung  $n m s$ , die Ablesung am Nordende entspricht dem Bogen  $o n = \alpha'$ ; wird auf den rechten Schenkel  $R$  eingestellt, so bewegt sich der Nadelstift von  $m$  nach  $m'$ , wobei  $m c m' = w$  und  $c m = c m' = e$  ist. Die Nadel kommt also in die zu  $n m s$  parallele Lage  $n' m' s'$ , und die



Ablesung am Nordende derselben wird  $a'' = \text{arc } o' n' = o' n + n n' = o' n + \delta$ , wenn man den Winkel  $n c n'$  mit  $\delta$  bezeichnet. Nun ist aber der gesuchte Winkel

$$w = o c n + n c n' - o' c n' = a' + \delta - a'' = a' - a'' + \delta$$

und es ergibt somit die Differenz der Ablesungen  $a' - a''$  nicht sofort den richtigen Winkel  $w$ , sondern  $w - \delta$ .

Würde man bei beiden Einstellungen jedesmal auch am Südende der Nadel abgelesen haben, so hätte man für den linken Schenkel  $a_1 = 180^\circ + v c s$ , für den rechten Schenkel  $a_2 = 180^\circ + v' c s'$  und den Winkel

$$w = v c s - s c s' - v' c s' = a_1 - \delta - a_2 = a_1 - a_2 - \delta$$

erhalten. Beide Ausdrücke für  $w$  addirt findet man

$$w = \frac{1}{2} (a' - a'' + a_1 - a_2) \quad (95)$$

d. h. der gesuchte Winkel  $w$  wird auch mit einer excentrischen Nadel fehlerfrei erhalten, wenn man aus den an beiden Nadelenden gefundenen Werthen von  $w$  das arithmetische Mittel nimmt.

Der Fehler  $\delta$ , welchen man begeht, wenn man nur ein Nadelende benützt, kann leicht berechnet werden. Setzt man nämlich den Winkel  $n^0 c n = c n s = \varphi'$  und  $n^0 c n' = c n' s' = \varphi''$  und nennt man den Winkel  $n^0 c m = n' m p$ , welchen die Richtung  $c m$  mit dem magnetischen Meridian bildet,  $\psi$ , so ergibt sich aus der Figur sofort  $\delta = \varphi'' - \varphi'$  und wegen Kleinheit der Winkel  $\varphi'$  und  $\varphi''$ :

$$\frac{\sin(\psi + w)}{\sin \psi} = \frac{\sin \varphi''}{\sin \varphi'} = \frac{\varphi''}{\varphi'}$$

Hieraus folgt weiter, wenn man auf beiden Seiten 1 abzieht:

$$\delta = \frac{\varphi'}{\sin \psi} (\sin(\psi + w) - \sin \psi)$$

und da für den Halbmesser  $cn = cn' = r$  aus dem  $\Delta c m n'$  die Proportion  $\sin \varphi' : \sin \psi = e : r$  oder auch  $\varphi' \sin 1'' : \sin \psi = e : r$  gilt: so wird schliesslich

$$\delta = \frac{e (\sin(\psi + w) - \sin \psi)}{r \sin 1''} = \frac{2 e \sin \frac{1}{2} w \cos(\psi + \frac{1}{2} w)}{r \sin 1''} \quad (96)$$

Für  $\psi = 0$ ,  $w = 90^\circ$ ,  $e = 0,5\text{mm}$  und  $r = 50\text{mm}$  wird  $\delta = 2062'',6 = 34'22'',6$ ; hieraus geht wohl der nachtheilige Einfluss der excentrischen Aufstellung der Nadel und die Nothwendigkeit der doppelten Ablesung deutlich genug hervor.

§. 139. **Bussole von Breithaupt.** Nach der vorausgehenden Auseinandersetzung des Wesens der Feldbussole bedarf die in Fig 177 versinnlichte Einrichtung nur einer kurzen Erläuterung.

Der Compass (C) ist wie bei der Ertel'schen Bussole beschaffen. Mit den 4 Schraubchen  $s, s$  wird die Gehäusplatte  $P$  an die Scheibe  $c$  der beiden Träger  $T, T$  so befestigt, dass sie gegen die Axe des Centralzapfens  $Z$  senkrecht steht. Die Dosenlibelle  $D$ , welche auf dem Glasdeckel ruht, dient zur Horizontalstellung des Gehäuses.



Ein Fernrohr (F) von kurzer Brennweite und ganz einfacher Construction vertritt hier die Stelle des Diopters. Seine Drehaxe (a a') ruht in den Trägern T, T, welche gestatten, es auszuheben und umzusetzen oder durchzuschlagen. Die Visirlinie bewegt sich bei der Drehung des Rohrs um die horizontale Axe aa' in einer Verticalebene, welche durch die Axe des Centralzapfens und den Durchmesser  $0^0-180^0$  des Gradrings bestimmt ist. Durch die Schliessen b, b wird die Drehaxe in ihrer Stellung festgehalten.

Fig. 177.

Das Gestell (A), wie das Ertel'sche aus drei Beinen und einer Kopfplatte bestehend, trägt einen Dreifuss (B), welcher durch den Ansatz G und die Schraube r mit der Kopfplatte A verbunden ist. Da der Dreifuss wegen der Horizontalstellung des Gehäuses, die durch drei Fusschrauben (E, E) bewirkt wird, eine mässige Verticalbewegung haben muss, so liegt die Schraube r nicht dicht an der Platte A, sondern an einer zwischen beide gestellten Spiralfeder f, welche sich um G windet. Auf diese Weise wird der Dreifuss am Gestelle festgehalten, ohne dass bei seiner Bewegung eine für ihn nachtheilige Spannung entsteht. Die Horizontaldrehung geschieht um den Centralzapfen Z. Diese Drehung fordert die Lüftung der Schraube n, welche gegen den Zapfen drückt. Nachdem man durch die grobe Drehung das Fernrohr gegen den anzuvisirenden Punkt gerichtet hat, kann man es mit Hilfe der Mikrometerschraube m genau einstellen, wenn die grobe Drehung durch Anziehen der Schraube n gehemmt ist.

Was den Gebrauch, die Prüfung und Berichtigung dieser Bussole betrifft, so gilt hier alles, was darüber in den §§. 133 bis 135 gesagt wurde, wenn man sich darin nur „Fernrohr“ statt „Dioptr“ gesetzt denkt und berücksichtigt, dass die Visirlinie des ersteren durch den Schnittpunkt des Fadenkreuzes und den optischen Mittelpunkt der Objectivlinse bestimmt wird.

### Die Orientirbussole.

§. 140. Von den meisten geometrischen Aufnahmen wird verlangt, dass sie die Lage der aufgenommenen Punkte nicht bloss unter sich, sondern auch gegen bestimmte Richtungen, z. B. die Himmelsgegenden, darstellen. Man findet deshalb auf den Plänen fast immer die Mittagslinie und die Senkrechte darauf angegeben. Andererseits ist es für die Aufstellung des Messtisches auf dem Felde oft sehr erwünscht, die Richtung des magnetischen Meridians zu kennen. Zur Angabe dieser Richtung und der Mittagslinie für eine Messtischaufnahme, welche keinen Theil einer grösseren Vermessung ausmacht und folglich nicht auf ein Dreiecksnetz gegründet ist,<sup>1</sup> bedient man sich der Orientirbussole, welche aus einem parallelepipedischen Kästchen (von etwa 18<sup>cm</sup> Länge, 9<sup>cm</sup> Breite, 3<sup>cm</sup> Höhe), worin sich eine Magnetnadel und zwei eingetheilte Kreisbögen befinden, besteht. Die Nadel ist wie bei der Feldbussole eingerichtet und wird wie dort mit dem sie tragenden Stifte in und ausser Verbindung gesetzt und auf ihre Empfindlichkeit geprüft. Die beiden Kreisbögen sind Theile eines Gradrings, der im Nadelstifte seinen Mittelpunkt hat, und liegen an den schmalen Seiten des Kästchens. Der Durchmesser dieser Bögen, welcher mit den Langseiten der Bodenplatte des Kästchens parallel läuft, wird durch eine schwarze Linie auf der Bodenfläche sichtbar gemacht und gewöhnlich mit S N bezeichnet. Dreht man das Kästchen so, dass die Nadel die Linie S N deckt, so stehen die Langseiten der Bodenplatte, welche als Lineale dienen, in der Richtung des magnetischen Meridians. Die Nullpunkte der beiden Kreisbögen liegen in dem Durchmesser S N; von ihnen aus werden nach beiden Seiten hin etwa 10 bis 15 Grade auf die Bögen gezeichnet.

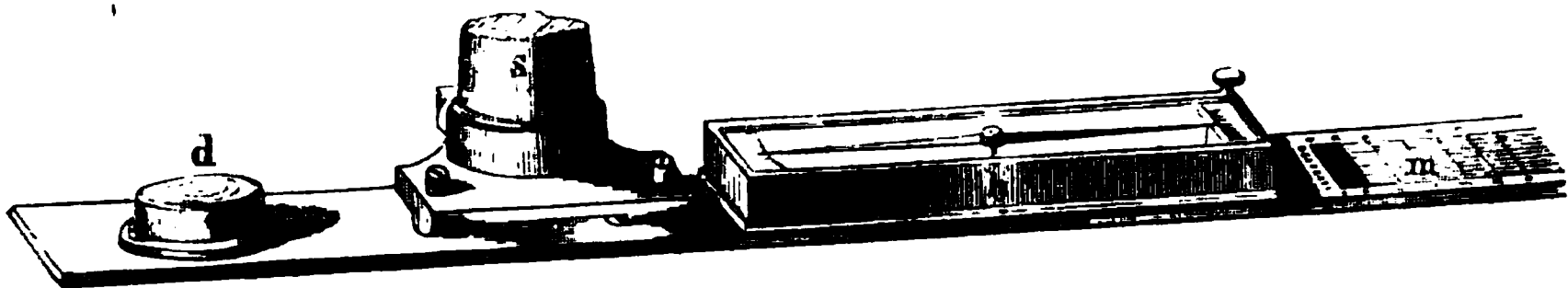
Soll mit Hilfe des eben beschriebenen Werkzeugs eine Messtischaufnahme nach den Himmelsgegenden orientirt werden, so verfähre man folgendermassen. Zunächst stelle man den Messtisch über einen beliebigen Punkte P des Felds so auf, dass der Punkt p der Aufnahme, welcher das Bild von P ist, lothrecht über P liegt, und dass nach der Horizontalstellung des Blatts eine Seite p q des Plans mit der auf dem Felde gegebenen Seite P Q, wovon jene wiederum das Bild ist, in eine Verticalebene fällt. Durch diese nach §. 124 zu vollziehende Arbeit wird die gezeichnete Figur mit der natürlichen, welche sie verjüngt darstellt, parallel gemacht: die Bildseiten haben folglich gegen die Himmelsgegenden dieselbe Lage wie die entsprechenden Seiten des natürlichen Grundrisses. Dreht man hierauf die auf den Plan gestellte Orientirbussole so lange seitwärts, bis die Nadel einspielt, d. h. die Linie S N deckt, und zieht an einer Langseite der Bodenplatte eine feine Linie, so bezeichnet diese den magnetischen Meridian. Ist nun für den gegebenen Ort und zur Zeit der Beobachtung die Abweichung der Nadel bekannt, so trägt man die Grösse derselben an die

<sup>1</sup> Wenn einer Messtischaufnahme ein Dreiecksnetz zu Grunde liegt, so ist die Lage aller aufgenommenen Punkte gegen die Mittagslinie aus diesem Netze bekannt, wie später gezeigt wird.

eben gezogene Linie, womit die gestellte Aufgabe insofern gelöst ist, als der neue Winkelschenkel, den man dadurch erhält, die Mittagslinie bezeichnet.

In neuerer Zeit verbindet man die Orientirbussole sofort mit der Kippregel, indem man das etwa 12<sup>cm</sup> lange und 4<sup>cm</sup> breite Kästchen so auf das Lineal schraubt, dass der Durchmesser S N mit der Kante desselben parallel ist. Und da man den Träger des Fernrohrs nicht mehr in die Mitte des Lineals setzt und dieses selbst etwas länger als bisher macht, so bleibt auch noch Platz auf demselben für einen verjüngten Massstab, wie Fig. 178

Fig. 178.



zeigt, wo m diesen Massstab, b die Bussole, s den Fernrohrträger und d eine Dosenlibelle vorstellt.

Schliesslich ist nur noch zu bemerken, dass man denselben Zweck, welcher eben durch die Orientirbussole erreicht wurde, auch durch die Feldbussole erfüllen kann: entweder indem man das Gehäus. von dem Gestelle abschraubt und die mit der Linie S N oder dem Durchmesser 0°—180° des Gradrings parallel laufenden Seiten der Bodenplatte gerade so wie die Langseiten des Kästchens der Orientirbussole benützt; oder aber indem man die Neigung einer Seite der aufgenommenen Figur gegen den magnetischen Meridian auf bekannte Weise misst, mit Hilfe der für Ort und Zeit gegebenen Abweichung der Magnetnadel auf die Mittagslinie bezieht, und diesen Neigungswinkel an jene Seite richtig anträgt.

### Der Hängecompass.

§. 141. Was für den Feldmesser die in §. 133 beschriebene Bussole, ist für den Markscheider der Hängecompass, nämlich ein Mittel, wagrechte Winkel zweier beliebiger Richtungen und dergleichen Neigungswinkel einzelner Linien gegen die Magnet- oder die Mittagslinie zu messen. Während aber jener seine Bussole auf einem versetzbaren Gestelle befestigen kann, muss dieser seinen Compass an eine ausgespannte Schnur hängen, welche den Winkelschenkel, dessen Lage bestimmt werden soll, vorstellt. Diese Forderung bringt die Beschaffenheit der Bergwerke mit sich, welche nicht an allen Punkten das Aufstellen von Stativen gestattet. Da, wie eben bemerkt, bei Messungen mit dem Hängecompass die Winkelschenkel durch ausgespannte Schnüre angegeben werden, so bedarf dieses Werkzeug selbstverständlich keines Diopters, wesshalb es nur aus zwei Theilen besteht: dem Compass und dem Hängezeug.

Der Compass ist, wie Fig. 179 zeigt, von dem der Feldbusssole nicht wesentlich verschieden; nur die Eintheilung des Rings ist theilweise eine andere. Die meisten Bergleute sind nämlich von alter Zeit her gewohnt,

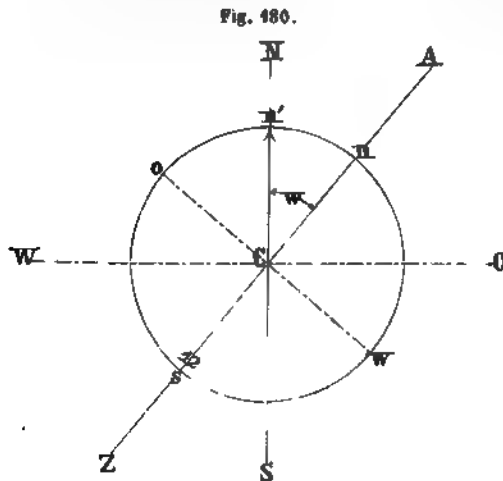
Fig. 179.

die Winkel, welche gegebene Richtungen mit der Magnetlinie einschliessen, nicht nach Graden, sondern nach „Stunden“ anzugeben, von denen eine der 24ste Theil eines Kreises oder ein Winkel von 15 Graden ist. Eine Stunde wird je nach Herkommen oder Verordnung entweder in Viertel, Achtel, Sechzehntel u. s. w. oder in 15 ganze und 30 halbe Grade eingetheilt. Die letztere Eintheilung ist jetzt die vorherrschende und verdient um so mehr den Vorzug, als sie mit der gewöhnlichen Kreiseintheilung zusammentrifft. Wir werden vorzugsweise nur diese berücksichtigen.

Vergleicht man die in der voranstehenden Figur abgebildete Eintheilung des Grubencompasses mit jener der Feldbusssole, so ergeben sich ausser dem eben besprochenen Unterschiede noch zwei andere, von denen der eine

in der Verwechslung der Bezeichnungen Ost und West, und der zweite in der entgegengesetzten, von rechts nach links laufenden Bezifferung liegt. Diese Verschiedenheiten erklären sich aber durch den Gebrauch des Grubencompasses.

Gesetzt nämlich, es sei der Horizontalwinkel, welchen in Fig. 180 die Linie AC mit der Magnetlinie SN einschliesst, d. i. der Streichwinkel  $ACN = w$  zu bestimmen: so wird der Durchmesser SN des Theil-



rings, welcher mit Stunde 0 ( $0^h$ ) und Stunde 12 ( $12^h$ ) bezeichnet ist, in die gegebene Richtung CA gestellt und am Nordende ( $n'$ ) der Nadel, welche in die Magnetlinie SN fällt, abgelesen. Wäre nun der Kreis wie das

Zifferblatt einer Uhr von links nach rechts beziffert, so würde die Ablesung für den Winkel  $ACN$  den Bogen  $nwsn'$  liefern, und man müsste diese Ablesung von 24 abziehen, um den gesuchten Bogen  $nn'$  in Stunden zu erhalten. Zählt man aber von  $n$  aus nach links, so erhält man durch die Ablesung bei  $n'$  sofort den gesuchten Bogen  $nn'$ , welcher das Mass des Winkels  $ACN$  ist. Dieser Winkel liegt in dem vorliegenden Falle offenbar auf der Ostseite der Nadel; würden aber auf der Bodenplatte des Compasses West und Ost nicht mit einander verwechselt sein, so ergäbe die Ablesung den Winkel  $ACN$  westlich und man hätte in der Aufzeichnung östlich dafür zu setzen. Um nun den Irrthümern, die sich hieraus ergeben können, ein für allemal vorzubeugen, bezeichnet man die Himmelslagenden so, wie oben und in der Fig. 180 angegeben.

Wenn, wie in Fig. 179 angenommen, die Kreistheilung von  $0^h$  bis  $24^h$  geht und ein für allemal festgesetzt wird, dass die Zählung von rechts nach links läuft, so kann man die Bezeichnung der Lage der Winkel gegen die Magnetlinie ganz weglassen, da dieselbe schon durch die Grösse der Ablesung bestimmt ist, insofern die Stunden von 0 bis 12 östlichen und die übrigen westlichen Lagen angehören. Wo aber der Kreis in zweimal 12 Stunden eingetheilt wird, welche von demselben Nullpunkte ausgehen und in entgegengesetzten Richtungen fortschreiten, ist die Bestimmung der östlichen oder westlichen Lage des Winkels unumgänglich nöthig.

Das Hängezeug, welches in Fig. 181 des Raums wegen in kleinerem

Fig. 181.

a

Maassstabe dargestellt ist als der zugehörige Compass (Fig. 179), besteht aus zwei rechtwinklig verbundenen Stücken, dem Hängebogen (b) und dem Hängekranz (c). Beide sind aus hart geschlagenem Messing gearbeitet. Der Hängebogen ist etwa 1 Millimeter dick und 15 Millimeter breit; seine Oeffnung richtet sich nach der Grösse des Hängekranzes, und diese nach dem

Durchmesser des Compasses; die Haken *a, a* dienen zum Aufhängen des Instruments an einer festgespannten Schuur. Der Hängekranz wird ungefähr doppelt so dick und halb so breit gemacht als der Hängebogen; er ist winkelrecht abgedreht und hat an den Enden eines Durchmessers zwei cylindrische Zapfen (*e, e*) mit scheibenförmigen Ansätzen (*i, i*), um welche er sich in den am Hängebogen festgeschraubten Lagern (*l, l*) drehen kann. In einem zweiten auf dem ersten senkrecht stehenden Durchmesser liegen zwei Körner (*d, d*), welche den in der Richtung *O W* oder  $6^h$  —  $18^h$  mit entsprechenden Vertiefungen (*o, o*) versehenen Compass so aufnehmen, dass eine Drehung desselben um die Axe *d, d* oder die Ostwestlinie möglich ist. Durch diese Bewegung und jene um die Axe *e, e* oder die Südnordlinie des Hängerings kann der Compass (Fig. 179) leicht horizontal gestellt werden. Der Drehung des Hängekranzes sind übrigens durch die Ansätze *i, i* der Zapfen ziemlich enge Grenzen gesteckt; denn wenn die Anschläge *f, f* der Scheiben *i, i* auf die Lager *l, l* zu liegen kommen, so hört die Bewegung auf. An älteren Hängeinstrumenten ist der Kranz gar nicht beweglich, sondern sofort rechtwinklig mit dem Hängebogen zusammengeschraubt, was unseres Erachtens gerade so gut ist als die neuere Einrichtung.

§. 142. **Gebrauch des Hängecompasses.** Soll mit dem eben beschriebenen Hängecompass der Horizontalwinkel (*r c l*) zweier Richtungen in einem Bergwerke bestimmt werden, so spanne man zunächst die Schnur nach dem rechten Schenkel aus und hänge an dieselbe das Instrument so, dass der Nordpunkt *N* des Compasses vom Scheitel des Winkels abgewendet ist. Hierauf sehe man zu, ob der Stundenring wagrecht liegt, was man, wie bei der Feldbussole, durch die Nadel erkennen kann; sanfte Drehungen um die Axen *d, d* oder *e, e* werden allenfallsige Abweichungen beseitigen. Ist die Nadel zur Ruhe gekommen, so lese man an ihrem Nordende (*n*) ab und bemerke das Ergebniss dieser Ablesung (*a'*). Dasselbe Verfahren wiederhole man am linken Schenkel. Die hierbei erhaltene Ablesung *a''* bestimmt den Streichwinkel des linken, so wie *a'* den Streichwinkel des rechten Schenkels: der Unterschied  $a' - a''$  ist der gesuchte Winkel in dem Falle, dass das Streichen beider Schenkel zugleich östlich oder zugleich westlich ist; liegt aber der rechte Schenkel östlich und der linke westlich, so muss man zu der negativen Differenz  $a' - a''$  noch  $360^0$  oder  $24^h$  addiren, um den verlangten Winkel zu finden. Das Bestimmen dieses Winkels aus den Ablesungen ist also dasselbe, welches wir bei der Feldbussole schon kennen gelernt haben; nur bezeichnet hier *a'* die Ablesung für den rechten und dort für den linken Schenkel. Dieses Voranstellen des rechten Schenkels ist bei Messungen mit dem Hängecompass deshalb nöthig, weil seine Bezifferung den entgegengesetzten Lauf von jener der Feldbussole hat, aus Gründen, von denen später (bei den Messungen) die Rede ist.

§. 143. **Prüfung und Berichtigung.** Nachdem man den Compass für sich wie früher untersucht hat, ob der Stundenring richtig getheilt, das

Gehäus eisenfrei, die Nadel empfindlich und nicht excentrisch ist: prüft man ihn in seiner Verbindung mit dem Hängezeuge weiter noch auf folgende Eigenschaften:

- 1) ob die Magnetnadel horizontal schwebt;
- 2) ob der Stundenring des Compasses eine wagrechte Lage annimmt;
- 3) ob die Südnord- oder zwölfte Stundenlinie des Compasses in der lothrechten Ebene der Schnur liegt.

Zu 1. Ob die Magnetnadel ruhend eine wagrechte Lage annimmt, erfährt man dadurch, dass man das Instrument an eine von Ost nach West gespannte Schnur hängt und beobachtet, wie die Nadelenden gegen die Ebene des Stundenrings liegen. Zeigt sich, dass die Nadelspitzen in dieser Ebene liegen, so kann man noch nicht mit Sicherheit annehmen, dass die Nadel selbst wagrecht liegt, weil es möglich wäre, dass der Stundenring in der Richtung der Nadel dieselbe Neigung gegen den Horizont hätte wie diese. Man muss deshalb, um hierüber klar zu werden, das Instrument umhängen (d. h. die Plätze der Haken vertauschen) und die Nadel abermals beobachten. Liegt sie diesesmal wieder in der Ebene des Stundenrings, so hat sie offenbar eine wagrechte Lage und ist Nichts an ihr zu verbessern; bildet aber ihr Rücken mit der Ringebene einen Winkel, so zeigt dieser den doppelten Fehler in der Lage der Nadel an: die eine Hälfte dieses Winkels wird alsdann an der Nadel, die andere an dem Hängekranz verbessert. Der Beweis dieser Behauptung ist so einfach, dass wir ihn übergehen zu dürfen glauben. Die Berichtigung der Nadel geschieht durch Beschwerung der Hälfte, welche sich erhebt, oder durch Leichtermachen derjenigen Hälfte, welche sich senkt; und was den Hängekranz betrifft, so muss man seine Stellung gegen den Bogen ebenfalls dadurch verbessern, dass man dessen eine Hälfte leichter oder schwerer macht. Zeigt sich gleich bei dem ersten Aufhängen, dass die Ebenen der Nadel und des Stundenrings nicht zusammenfallen, so liegt der Fehler entweder in der Nadel, oder in dem Ringe, oder in beiden zugleich. Man verbessere daher zunächst die Nadel durch Ankleben von etwas Wachs so, dass sie in die Ebene des Rings einspielt, hänge hierauf das Instrument um und verfähre weiter wie vorhin.

Zu 2. Daraus, dass der Compass nach dem oben beschriebenen Verfahren in der Richtung seiner Drehaxe  $d, d$  horizontal gestellt worden, folgt noch nicht, dass sein Stundenring in einer wagrechten Ebene liegt. Man muss deshalb, nachdem die Nadel untersucht worden, die Schnur in die Magnetlinie spannen und zusehen, ob nach eingetretener Ruhe die Nadelenden in der Ebene des Rings liegen. Fallen sie in diese Ebene, so ist dieselbe wagrecht; ausserdem aber ist entweder die Masse des Compassgehäuses zu beiden Seiten der Drehaxe  $d, d$  nicht gleich vertheilt, oder diese Axe geht nicht genau durch den Mittelpunkt des Kreises, oder aber die Reibung der Axe ist zu gross. In dem ersten Falle müsste das Gehäus auf der schwereren Seite etwas abgeschliffen werden, in dem zweiten hätte





rechteckigen Messingplatte (p) von 18 bis 24<sup>cm</sup> Länge, 12 bis 15<sup>cm</sup> Breite, 3 bis 4<sup>mm</sup> Dicke, und aus einem in deren Mitte befindlichen und senkrecht darauf stehenden Kranze (c), welcher weit und hoch genug ist, den Compass des Hängezeugs (Fig. 179) in sich aufzunehmen. Dieser Compass wird so eingesetzt, dass die zwölfte Stundenlinie (0<sup>h</sup> — 12<sup>h</sup>) oder der Durchmesser 0° — 180° mit den Langseiten (a b, a' b') der rechteckigen Zulegeplatte, welche wie ein Lineal zu gebrauchen ist, parallel läuft. Um dieses mit der nöthigen Genauigkeit zu bewirken, dreht man den Compass in dem Zulegekranze so lange, bis zwei bestimmte an beiden Theilen befindliche Marken genau auf einander treffen, und macht ihn dann entweder mit einer Bremsschraube (m) oder durch irgend ein anderes Mittel fest.

Will man mit Hilfe des Zulegezeugs einen aufgenommenen Winkel (l c r) seiner Grösse und Lage nach bildlich darstellen, so braucht man nur auf dem horizontal gestellten Zeichnungsbrette die Kante der Zulegeplatte an den gegebenen Winkelscheitel (c) anzulegen und das Werkzeug um diesen Punkt so lange zu drehen, bis die Nadel dieselbe Stellung wie bei der Aufnahme des ersten Schenkels hat, also die gleiche Ablesung gibt. Zieht man alsdann längs der Kante eine feine Linie, so ist diese der eine Schenkel; den zweiten findet man in ähnlicher Weise, und aus beiden ergibt sich der ganze Winkel seiner Grösse nach. Will man die Neigung seiner Schenkel gegen die Magnetlinie darstellen, so drehe man die an c liegende Platte so lange, bis die Nadel in der zwölften Stundenlinie einspielt und ziehe an der Kante abermals eine Linie: diese ist nun der Magnetlinie parallel und bestimmt deren Lage gegen die Winkelschenkel.

Soll der Streichwinkel einer auf einem Plane gegebenen Richtung gefunden werden, so lege man diesen Plan horizontal und orientire ihn nach dem magnetischen Meridian, indem man die Zulegeplatte an die mit S N bezeichnete Magnetlinie des Plans anlegt und diesen so lange dreht, bis die Nadel mit der zwölften Stundenlinie zusammenfällt. Hierauf bringe man die Kante der Zulegeplatte an die gegebene Richtung und lese an dem Nordende der Nadel den gesuchten Winkel seiner Grösse und Lage nach ab.

Das Zulegezeug muss folgende Eigenschaften besitzen: erstens sollen die Längenkanten der Zulegeplatte gerade und parallele Linien, und zweitens diese Kanten der zwölften Stundenlinie des Compasses parallel sein.

Ob die erste dieser Eigenschaften vorhanden ist, erfährt man auf folgende Weise: Man befestige auf einem wagrecht stehenden ebenen Brette zwei feine Nadeln senkrecht und in etwas kleinerer Entfernung als die Zulegeplatte lang ist. Hieran lege man die eine Kante der Platte und drehe das Brett so weit, bis das Nordende der Nadel auf einen Theilstrich des Stundenrings genau einspielt. Alsdann bringe man die zweite Kante an die beiden Nadeln und lese nach eingetretener Ruhe der Nadel wieder an deren Nordende ab. Ist diese Ablesung von der ersten genau um 180° oder 12<sup>h</sup> verschieden, so sind die Kanten der Zulegeplatte parallel, ausserdem aber

nicht, und es zeigt die Abweichung des Unterschieds beider Ablesungen von  $180^0$  oder  $12^h$  den Neigungswinkel der zwei Langkanten der Platte an.

Wenn man zur Prüfung des Zulegezeugs auf die zweite der oben angeführten Eigenschaften nicht das in Nr. 3 des vorigen Paragraphen beschriebene Verfahren, welches die Kenntniss der Mittagslinie und der eben stattfindenden magnetischen Abweichung voraussetzt, anwenden will, wobei man die Kante der Zulegeplatte in die Mittagslinie zu stellen hätte: so stelle man auf dem Felde einen Messtisch horizontal auf; richte mit der geprüften und richtig gestellten Kippregel eine ausgespannte Schnur genau in ihre Visirebene, oder umgekehrt diese in jene; messe das Streichen der Schnur mit dem Hängecompass; lege hierauf den Compass in das Zulegezeug und schiebe dieses vorsichtig an die Kante des unverrückt stehen gebliebenen Lineals der Kippregel. Zeigt hierbei die Nadel denselben Streichwinkel für die Linealkante an, so ist dieses offenbar ein Beweis dafür, dass diese und folglich auch die anliegende Kante der Zulegeplatte mit der zwölften Stundenlinie, von welcher die Zählung der Winkel ausgeht, parallel ist; weichen aber die Ablesungen am Hängecompass und in dem Zulegezeuge von einander ab, so gibt der Unterschied dieser Ablesungen den Neigungswinkel des Durchmessers  $0^h$  —  $12^h$  oder  $0^0$  —  $180^0$  gegen die Kante der Zulegeplatte an, vorausgesetzt, dass das Hängezeug wie die Kippregel berichtigt war.

Wenn man durch die eben beschriebenen Untersuchungen findet, dass die Kanten der Zulegeplatte entweder unter sich oder mit der zwölften Stundenlinie nicht parallel sind, so kann der Mechaniker solche Fehler leicht verbessern; wollte oder könnte man aber diese Verbesserungen nicht vornehmen lassen, so liesse sich auch mit dem fehlerhaften Zulegezeug unter folgenden Bedingungen richtig arbeiten. Erstens würde man hierbei immer nur eine und dieselbe Kante der Zulegeplatte benützen; zweitens brächte man beim Auftragen oder Abnehmen von Streichwinkeln den Neigungswinkel dieser Kante gegen die zwölfte Stundenlinie in der rechten Weise in Anrechnung; und drittens nähme man beim Auf- oder Abtragen von Winkeln, welche keine Streichwinkel sind, gar keine Rücksicht auf den vorhandenen Fehler, da dessen Einfluss auf jene Winkel nach §. 134 durch das bei dem Auf- oder Abtragen zu beobachtende Verfahren vernichtet wird.

## 2. Die Theodolithen.

§. 145. Mit dem Worte Theodolith, dessen Ableitung nicht mit Bestimmtheit anzugeben ist, <sup>1</sup> bezeichnet man jedes Winkelmessinstrument mit

<sup>1</sup> Einige glauben, dass das Wort Theodolith zusammengesetzt sei: aus  $\theta\epsilon\alpha$  das Anschauen,  $\delta\delta\omicron\varsigma$  der Weg und  $\lambda\theta\omicron$ ; der Stein. Um diese Ableitung zu begreifen, muss man wissen, dass in früherer Zeit die Unterlagen, auf welche man die Theodolithen stellte, immer aus Stein bestanden. Einige andere Versuche über die Ableitung des Wortes »Theodolith« findet man in Poggendorff's Annalen, Bd. 133, St. 1, S. 192 angegeben.

zwei eingetheilten Kreisen, welche senkrecht gegen einander und bei der Messung beziehlich horizontal und vertical stehen. Die Formen der Theodoliten sind sehr verschieden; ihrem Wesen nach zerfallen sie aber nur in zwei Gattungen: in einfache Theodoliten oder Theodoliten schlechweg, und in Repetitionstheodoliten oder Wiederholungskreise. Wir wollen zunächst von diesen zwei Gattungen der Theodoliten eine allgemeine Anschauung geben und die Bedingungen erläutern, welche an jeder zu erfüllen sind, und hierauf die Einrichtung und den Gebrauch mehrerer Theodoliten im Einzelnen kennen lernen. Die Zeichnung, Fig. 183, auf welche

Fig. 183

sich die allgemeinen Erörterungen gründen, soll nur die wesentlichen Theile der in Rede stehenden Instrumente in ihrer gegenseitigen Stellung andeuten und bloss dazu dienen, den durch den Text zu erweckenden Vorstellungen mehr Bestimmtheit zu verleihen. Sie ist nur eine schematische Darstellung, keine wirkliche Abbildung eines der später zu beschreibenden Instrumente.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Der Verfasser sieht sich zu dieser Bemerkung veranlasst, da Manche die Fig. 183 unrichtig aufgefasst haben. Jeder aufmerksame Leser weiss aber, dass das Detail eines Instruments nicht verstanden wird, so lange die richtige Vorstellung von dem Zwecke der Hauptbestandtheile fehlt, und diese kann nur mit Vermeidung aller Nebendinge erweckt werden.

**§. 146.** Der einfache Theodolith hat im Allgemeinen folgende Einrichtung. Ein Kreis von Messing (h), der auf seiner Oberfläche mit einem Silberstreifen belegt und nach dem Gradmasse eingetheilt ist, steht durch Speichen mit einem massiven Untergestelle (t) in fester Verbindung. Dieses Gestell ist gewöhnlich ein Dreifuss, welcher auf Stellschrauben (w) ruht, durch deren Drehung seine Lage und folglich auch die des Kreises verändert wird. Mit diesen Schrauben kann der Kreis horizontal gestellt werden, und von dieser Lage hat er den Namen Horizontalkreis. Mit diesem Kreise liegt ein zweiter (m) in einer Ebene (a k). Dieser ist um eine durch den Mittelpunkt des Horizontalkreises gehende und auf ihm senkrecht stehende Axe (c z) drehbar; sein Rand schliesst sich genau an den feststehenden Horizontalkreis an. Durch Speichen steht er mit seiner massiven Axe (z) in fester Verbindung, und an den Enden eines Durchmessers trägt er zwei Nonien von Silber (n). Da er zur Zählung der Grade dient, um welche alle mit ihm fest verbundenen Stücke von einem Winkelschenkel zum anderen gedreht worden sind, so heisst er der Alhidadenkreis.<sup>1</sup> Senkrecht darauf steht ein fester Träger (g) für das Fernrohr (p). Dieser Träger geht entweder von der Mitte des Alhidadenkreises aus und spaltet sich oben in zwei Arme zur Aufnahme der Drehaxe (e f) des Fernrohrs, oder er besteht sofort von unten an aus zwei Theilen, zwischen denen sich das Fernrohr bewegen kann. Jedenfalls sollen seine Arme so hoch sein, dass man das Fernrohr durchschlagen kann. Das Fernrohr hat den Zweck, die Winkelschenkel auf den Horizontalkreis so zu projeciren, dass die Projectionen durch den Mittelpunkt dieses Kreises gehen. Es muss folglich die Visirlinie des Fernrohrs von der Alhidadenaxe geschnitten werden und auf der Drehaxe des Fernrohrs senkrecht stehen, diese Axe selbst aber mit dem Horizontalkreise parallel sein. Denn stünde die Visirlinie nicht senkrecht zur Drehaxe, so würde sie beim Auf- und Niederkippen des Fernrohrs keine Ebene, sondern eine Kegelfläche beschreiben; wäre die Drehaxe dem Horizontalkreise nicht parallel, so bildete die von der Visirlinie beschriebene Ebene keinen rechten Winkel mit der Ebene dieses Kreises; und schnitten sich die Visirlinie und die Alhidadenaxe nicht, so gingen die Projectionen der Winkelschenkel nicht durch den Mittelpunkt des Horizontalkreises, welcher lothrecht über dem Scheitel des zu messenden Winkels aufgestellt ist. Mit dem Fernrohre ist eine Röhrenlibelle (o) zur Horizontalstellung des Kreises verbunden. Diese Libelle ruht entweder auf dem Fernrohre selbst, oder steht oder hängt an dessen Drehaxe: im ersten Falle ist sie der Visirlinie, im zweiten der Drehaxe parallel. Die Wirkung einer solchen Libelle auf den Horizontalkreis ist leicht zu begreifen. Steht sie z. B. auf der Drehaxe und wird sie durch die Stellschrauben des Dreifusses zum Einspielen gebracht, so ist der Kreis nach der Richtung ihrer Axe horizontal, weil er der Drehaxe parallel ist; dreht man diese Axe und mit

<sup>1</sup> Das Wort Alhidade ist nämlich nach Montucla gleichbedeutend mit Zähler.

ihr die Libelle um einen rechten Winkel und bringt letztere wieder zum Einspielen, so ist der Kreis auch nach dieser zweiten Richtung und folglich im Ganzen horizontal, vorausgesetzt, dass an der wagrechten Lage der ersten Richtung Nichts geändert wurde, wovon man sich durch Zurückführen des Fernrohrs und der Libelle in die erste Stellung überzeugt. Ein mit der Drehaxe des Fernrohrs senkrecht verbundener getheilter Kreis, der Verticalkreis (v) steht lothrecht, sobald die Drehaxe wagrecht ist. Dieser Kreis macht alle Bewegungen des Fernrohrs mit; zur Messung derselben dienen zwei feststehende Nonien, welche in der Regel an den Enden eines mit dem Horizontalkreise parallelen Durchmessers liegen. Sollte nur ein Nonius angebracht sein, so befindet er sich gewöhnlich an dem unteren Ende eines lothrechten Durchmessers des Verticalkreises. Es versteht sich von selbst, dass man diesen Kreis eben so gut wie den Horizontalkreis unbeweglich machen und in ihm einen Alhidadenkreis anbringen könnte: bei einfachen Theodolithen zieht man jedoch die eben beschriebene Einrichtung vor. Da mit dem Verticalkreise eines solchen Instruments gewöhnlich nur Höhen- und Tiefenwinkel gemessen werden, so beziffert man die Eintheilung desselben in der Regel so, dass von den beiden Nullpunkten aus, welche der horizontalen Lage des Fernrohrs entsprechen, nach zwei entgegengesetzten Richtungen bis zu  $90^\circ$  fortgezählt wird. Diese Zahlen liegen folglich an den Enden eines Durchmessers, welcher auf dem ersten, der durch  $0^\circ$  geht, senkrecht steht, und entsprechen den grösstmöglichen Höhen- und Tiefenwinkeln. Als wichtige Nebenbestandtheile des Theodolithen sind noch zu erwähnen: erstens die Klemm- und Mikrometerschrauben, durch welche auf ähnliche Weise wie beim Meastische die grobe und feine Drehung des Vertical- und Alhidadenkreises bewirkt wird; und zweitens die Lupen (u, u), welche zum Ablesen an den beiden Kreisen dienen.

§. 147. Der Repetitionstheodolith unterscheidet sich von dem einfachen Theodolithen dadurch, dass er bei einmaliger Aufstellung und zweimaliger Ablesung ein beliebig grosses Vielfaches eines gegebenen Winkels zu messen gestattet, aus dem man durch Division leicht den einfachen Winkel finden kann. Die Absicht, welche man bei Anwendung dieses Verfahrens hat, ist die Verminderung des Einflusses der Beobachtungsfehler auf den gemessenen Winkel; und diese Absicht wird, wie Theorie und Erfahrung lehren, unter gewissen Bedingungen in befriedigender Weise erreicht. Das Verfahren, die Winkel durch Repetition zu messen, wurde im Jahre 1752 zuerst von Tobias Mayer d. Ä. angegeben und einige Jahre später von Borda in etwas veränderter Gestalt unter dem Namen der doppelten Repetition oder Multiplication in die astronomische Praxis eingeführt. Zum besseren Verständnisse des Folgenden müssen wir die Methode der einfachen Repetition, welche sich allein in der Anwendung erhalten hat, erörtern.

Soll der Winkel BCD durch Repetition gemessen werden, so stelle man den Theodolithen centrisch über dem Scheitel C auf und bringe den Horizontalkreis (h) in die wagrechte Lage. Hierauf richte man das Fern-

### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

das linke Signal B ein und lese am Nonius (n) des Alhidaden-  
n Bogen a ab. Ohne den Horizontalkreis zu verrücken, führe  
das Fernrohr nach dem Signal D und stelle das Fadenkreuz genau  
urch ist der Nonius von a nach a' gegangen. Würde man den  
ablesen, so gäbe der Unterschied a' — a den einfachen Winkel  
t den nicht zu vermeidenden Beobachtungsfehlern. Man liest aber  
b, sondern führt jetzt, indem man den Alhidadenkreis an dem  
kreise festklemmt, diesen und jenen so weit von rechts nach links,  
ernrohr genau wieder auf das Signal B gerichtet ist. Dadurch  
er Punkt a' des Horizontalkreises dahin, wo vorher a war, und  
84 geht in Fig. 183 über. Die Fortsetzung des Verfahrens be-  
i, dass man den Horizontalkreis wieder feststellt und den gelösten  
kreis von links nach rechts führt, bis das Fadenkreuz des Fern-

Fig. 184.

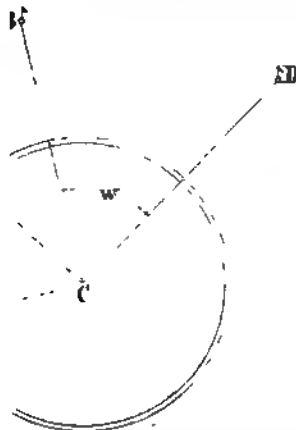
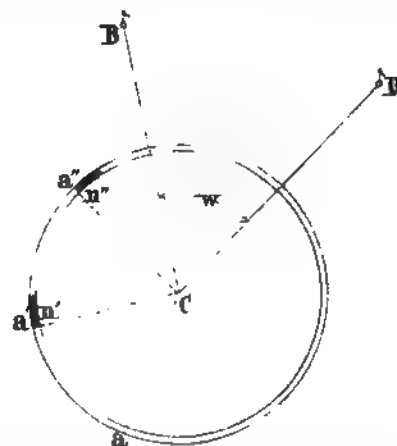


Fig. 185.



Signal D schneidet. In Folge dieser Drehung kommt der Nonius  
unkt a'' des Horizontalkreises. Will man hiermit die Repetition  
n, so liest man in a'' ab und dividirt den Bogen a'' — a, welcher  
en doppelten Winkel B C D vorstellt, durch 2, um den einfachen  
C D zu erhalten. Auf diese Weise kann man das 10, 20, 30-,  
das n fache eines Winkels messen und hieraus durch Division mit  
1, ... n den einfachen Winkel finden. Ueberschreitet der Nonius  
unkt der Theilung, so muss zu der letzten Ablesung, welche a<sub>n</sub>  
ll, so viel mal 360° addirt werden, als der Nonius den Nullpunkt  
ntalkreises überschritten hat. Ist dieses bei n maliger Repetition  
sehen, so ist der gesuchte Winkel

$$w = \frac{360 n + a_n - a}{n} \quad (97)$$

den vorausgehenden Erklärungen begreift man, dass der wesent-  
rschied zwischen einem einfachen und einem repetirenden Theo-

dolithen darin liegt, dass bei diesem auch der Horizontalkreis um eine lothrechte Axe drehbar ist. Diese Drehbarkeit des Horizontalkreises wird nach Fig. 195 in folgender Weise bewirkt. In der Centralbüchse (t) des Dreifusses ( $\delta$ ) dreht sich ein hohler Zapfen ( $\eta$ ) mit grösster Genauigkeit um seine Mittellinie. An diesem Zapfen ist der Horizontalkreis (h) in senkrechter Richtung befestigt. Die grobe Drehung dieses Zapfens und Kreises wird durch eine Klemme aufgehoben, welche mit der Centralbüchse in Verbindung steht; durch eine Mikrometerschraube ist alsdann noch eine feine Drehung möglich. In der Höhlung des Zapfens für den Horizontalkreis steckt der massive Zapfen ( $\zeta$ ) des Alhidadenkreises (h') so, dass die Axen beider Zapfen ganz genau zusammenfallen. Der Alhidadenkreis wird hier wie bei dem einfachen Theodolithen an dem Horizontalkreise gebremst und durch eine Mikrometerschraube fein gedreht. An der Alhidade der Wiederholungskreise sind in der Regel vier Nonien angebracht, welche um  $90^\circ$  von einander abstehen. Die Absicht, in welcher dieses geschieht, ist die Verminderung des Einflusses allenfallsiger Excentricitäts- und Theilungsfehler auf die Messung, indem man annehmen darf, dass das arithmetische Mittel aus vier Ablesungen der Wahrheit näher kommt als jenes aus zweien.

#### Der einfache Theodolith.

§. 148. Theodolith von Breithaupt. Da es des Raums wegen nicht möglich ist, in diesem Werke mehrere einfache Theodolithen abzubilden und zu beschreiben, so wird man darin, dass wir den folgenden Erörterungen ein Breithaupt'sches Instrument zu Grunde legen, kein stillschweigendes ungünstiges Urtheil über andere Theodolithen, sondern nur das Bestreben suchen, allen guten Werkstätten für mathematische Instrumente gerecht zu werden. Dem Wesen nach stimmen alle einfachen Theodolithen unter sich überein, und in constructiver Beziehung unterscheiden sie sich nur wenig von den Wiederholungskreisen. So stimmt z. B. der einfache Theodolith von Ertel in München mit dem in den §§. 153 bis 155 beschriebenen und in den Figuren 194 und 195 abgebildeten Repetitionstheodolithen bis auf zwei Bestandtheile, welche der letztere mehr hat, nämlich den hohlen Zapfen  $\eta$   $\eta$  und die Klemme  $k'$   $q'$  (Fig. 195), überein, und man kann sich hiernach dessen Beschaffenheit leicht denken.

In Fig. 186 ist die Ansicht eines einfachen Theodolithen mittlerer Grösse von Breithaupt und in Fig. 187 der lothrechte Durchschnitt seines Horizontal- und Alhidadenkreises mit Zapfen und Fernrohrträger dargestellt. In beiden Figuren bezeichnen gleiche Buchstaben gleiche Theile.

Der Dreifuss kann mit seinen an den Enden der Arme befindlichen Stellschrauben ( $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ) auf jede feste ebene Unterlage gestellt werden; hier ist er durch eine Schraubenstange (x) mit einem Reichenbach'schen dreibeinigen Gestelle (p) fest verbunden, damit sich während der Messung sein Stand durch die Drehung der Alhidade mit dem Fernrohre nicht ver-





andere. Sehr grosse und schwere Theodolithen bedürfen dieser Verbindung nicht; wo sie aber angebracht ist, darf sie die Wirkung der Stellschrauben des Dreifusses nicht hindern; sie darf also nicht zu starr sein, sondern muss etwas federn. Deshalb ist die Schraube  $x$  mit einer Spirale ( $y$ ) umwunden, die sich mit ihrem unteren Ende auf die Schraubenmutter  $x'$  und oben an eine kleine den Schaft  $x$  umgebende ausgehöhlte Messingplatte stützt, welche durch das Vorwärtsdrehen der Mutter  $x'$  an die Unterfläche des Gestellkopfes ( $p$ ) gedrückt wird. Weil die Spirale  $y$  federt, so kann sich die Schraube  $x$  mit dem Dreifusse  $t$  um so viel erheben als die Stell-

Fig. 187.

schrauben des letzteren erfordern, während die Fussplatten dieser Schrauben jederzeit fest gegen die Kopfplatte des Gestells gepresst sind. Die Schraube  $x$  ist, wie der Durchschnitt Fig. 187 zeigt, in ihrem oberen Theile hohl und mit einer Federung ausgefüllt, um die Bewegung des Alhidadenzapfens  $s$ , der auf die Scheibe bei  $v$  drückt, zu erleichtern.

Der Horizontalkreis ( $h, h$ ) hat an einfachen Theodolithen mittlerer Grösse 15 bis 25 Centimeter Durchmesser. Bei 20<sup>cm</sup> Durchmesser theilt Breithaupt den silbernen Limbus gewöhnlich in Drittel-Grade oder in 1080 gleiche Theile; übrigens gestattet dieser Durchmesser auch eine feinere Theilung bis zu Sechstel-Graden oder in 2160 gleiche Theile. Die Verbindung des Horizontalkreises mit dem Dreifusse zeigt der Schnitt in Fig. 187 so

ausführlich, dass jede weitere Bemerkung darüber unterbleiben kann. Die Oberfläche dieses Kreises ist darum nicht eben sondern kegelförmig, weil diese Lage das Ablesen der Theilung etwas erleichtert. Indessen sind alle Schnitte des Limbus durch Ebenen, welche auf der Alhidadenaxe senkrecht stehen, concentrische Kreise, deren Mittelpunkte in dieser Axe liegen und deren Ebenen wagrecht sind, sobald die Alhidadenaxe lothrecht steht. Die Neigung der Kegelfläche gegen den Horizont beträgt 15 bis 20 Grad.

Der Alhidadenkreis ( $h'$ ,  $h'$ ) liegt mit dem Horizontalkreise in einer und derselben Kegelfläche und ist auf die in der Fig. 187 angedeutete Weise mit dem Centralzapfen ( $\delta$ ), dessen Mittellinie die Alhidadenaxe heisst, fest verbunden. Dieser Zapfen endigt unten in eine Schraube mit einer Mutter ( $v$ ), welche von dem Unterrande der Centralbüchse ( $\eta$ ) etwas absteht und den Zweck hat, das Abheben des Alhidadenkreises vom Horizontalkreise zu verhindern. Mit der Klemme  $k'$  und der Bremsschraube  $q'$  kann der Alhidadenkreis an dem Limbus festgehalten und in seiner groben Drehung gehemmt werden. Denn indem die Schraube  $q'$  angezogen wird, drückt sich die untere Platte der Klemme an den Horizontalkreis und verschafft so der mit der oberen Platte verbundenen Differential-Mikrometerschraube  $r'$  einen festen Stützpunkt. Wird nun diese Schraube, welche zwei Gewinde von verschiedenen Ganghöhen hat, nicht gedreht, so ist der Alhidadenkreis, auf dem der Ansatz mit der Schraubenmutter befestigt ist, gehindert, vor- oder rückwärts zu gehen. Dagegen wird er sich nach der einen oder anderen Seite drehen, wenn man die Schraube  $r'$  vor- oder rückwärts bewegt. Durch diese wird also die feine Drehung des Alhidadenkreises und aller mit ihm fest verbundenen Theile bewirkt.

Die beiden Nonien ( $n_1$ ,  $n_2$ ) liegen in der Oberfläche der Alhidade und stehen sich gerade gegenüber. Sie sind von Silber und haben, wenn der Kreis in Drittelgrade getheilt ist, eine Angabe von einer halben Minute, und wenn er in Sechstelgrade getheilt ist, von zehn Secunden. In dem ersten Falle ist also die Länge von 39 und in dem zweiten Falle die Länge von 59 Limbustheilen auf dem Nonius in beziehlich 40 und 60 gleiche Theile getheilt. Von dem Limbus sieht man bei fast allen Breithaupt'schen Theodolithen nur wenig mehr als ein Stück von der Länge der Nonien, weil derselbe an allen übrigen Stellen von einem vorspringenden Rande der Alhidade desswegen zugedeckt wird, um ihn vor jeder Beschädigung durch Stoss, Feuchtigkeit, Staub, Schmutz u. dgl. zu schützen.

Das Fernrohr ( $e f$ ) ruht mit seiner Drehaxe ( $e$ ) in zwei mit Kappen zugedeckten Lagern auf den Armen ( $u$ ,  $u$ ) einer hohlen, der Länge nach durchbrochenen Säule ( $g$ ), welche auf dem Alhidadenkreise festgeschraubt ist. Die Höhe dieser Säule und ihre Durchbrechung gestatten, das 14 Zoll lange Fernrohr an der Ocularseite durchzuschlagen. Das Objectiv des Fernrohrs ist achromatisch und hat 14 Linien Oeffnung; das astronomische Ocular gewährt eine 25malige Vergrösserung. Das Fadenkreuz kann durch zwei Stellschraubchen ( $f$ ,  $f$ ) nur seitwärts, aber nicht auf und ab bewegt

werden. Diese Bewegung reicht indessen immer aus, so lange sich das Fernrohr, wie hier, nicht um seine optische Axe drehen lässt. Denn da diese Drehung nicht möglich ist, so behält die Visirlinie stets dieselbe Lage gegen die mechanische Axe bei, wenn auch der Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes etwas unter oder über dieser Axe liegt. Es kommt nur darauf an, dass der Kreuzungspunkt in der Ebene liegt, welche durch den optischen Mittelpunkt des Objectivs geht und auf der Drehaxe senkrecht steht: in diese kann er aber durch die Stellschraubchen  $f, f$  gebracht werden.

Der Verticalkreis ( $v$ ) steht senkrecht auf der Drehaxe des Fernrohrs zwischen diesem und einem seiner Axenlager ( $u$ ). Sein Durchmesser beträgt bei einem 15 bis 25<sup>cm</sup> grossen Horizontalkreise gewöhnlich 15<sup>cm</sup>. Der silberne Limbus ist alsdann unmittelbar in halbe Grade getheilt und gibt mit Hilfe der Nonien ( $n', n$ ), welche sich diametral gegenüberstehen, einzelne Minuten an, indem auf ihnen 29 Limbustheile in 30 Nonientheile zerlegt sind. Der Verticalkreis hat zwei Nullpunkte — für jeden Nonius einen — und von jedem dieser Punkte schreitet die Bezifferung nach zwei entgegengesetzten Seiten bis zu 90° fort. Die Nonien, welche sich in Schraubenspitzen ( $c, c'$ ) bewegen, können gegen die Ebene des Verticalkreises geklappt und in der Richtung der Theilung ein wenig verschoben werden, um sie mit derselben richtig zu stellen. Eine Klemme ( $k$ ) hemmt, wenn die Bremsschraube ( $q$ ) angezogen wird, die grobe Drehung des Verticalkreises und des Fernrohrs; durch die Mikrometerschraube  $r$  aber werden beide fein gedreht. Die Einrichtung dieses Bestandtheils ist dieselbe wie bei dem gleichnamigen Theile an dem Horizontalkreise.

Eine Röhrenlibelle ( $o$ ) auf dem Fernrohre dient zur Horizontalstellung nicht allein des Fernrohrs, sondern auch des Limbus. Es erscheint daher die Dosenlibelle ( $i$ ), welche auf dem Alhidadenkreise in der hohlen Tragsäule ( $g$ ) steht, nicht als eine nothwendige, sondern bloss als eine angenehme Beigabe, durch welche man sich während der Messung fortwährend von dem ungeänderten horizontalen Stande des Instruments überzeugen kann. Jede dieser Libellen hat entsprechende Stellschraubchen zur Berichtigung: die Röhrenlibelle wird durch die Schraube  $a'$ , welcher eine um ihre Spindel gewundene Spiralfeder entgegenwirkt, parallel zur Fernrohraxe gestellt und dreht sich dabei um eine horizontale Cylinderfläche auf der entgegengesetzten Seite bei  $a$ . Die Dosenlibelle lässt sich durch drei Schraubchen ( $\alpha$ ), denen eine federnde kreuzförmig ausgeschnittene Platte unterhalb des Libellengehäuses entgegenwirkt, senkrecht zur Alhidadenaxe stellen.

§. 149. **Aufstellung und Gebrauch.** Soll mit dem eben beschriebenen und als fehlerfrei vorausgesetzten Theodolithen ein Horizontalwinkel gemessen werden, so ist zunächst das Instrument centrisch über dem Scheitel aufzustellen, was durch einen an den Haken der Stativschraube  $x$  angehängten Senkel leicht zu bewirken ist. Dabei gibt man dem Stativ eine solche Stellung, dass es gehörig feststeht und der Horizontalkreis dem Augen-

masse nach wagrecht liegt.<sup>1</sup> Hierauf stellt man durch eine entsprechende grobe und feine Drehung den Verticalkreis auf die Nullpunkte seiner Nonien ein. Dadurch kommt, wenn kein Collimationsfehler vorhanden, die Libellenaxe in eine senkrechte Lage gegen die Alhidadenaxe. Nun bringe man durch Drehung der Alhidade das Fernrohr sammt der Libelle in die Richtung zweier Stellschrauben, etwa  $w_1$  und  $w_3$ , und bewege diese Schrauben einzeln oder in Verbindung so lange, bis die Luftblase der Libelle einspielt. (Die Wirkung der Fusschrauben auf die Bewegung der Luftblase besteht darin, dass diese Blase stets dem Daumen der linken und dem Zeigfinger der rechten Hand folgt.) Wenn die Libellenaxe, wie vorausgesetzt wurde, wirklich senkrecht steht zur Alhidadenaxe, so muss die Luftblase auch dann noch einspielen, wenn man das Rohr mit der Libelle um  $180^\circ$  gegen die erste Stellung dreht.<sup>2</sup> Nachdem jetzt der Kreis in der Richtung  $w_1 w_3$  wagrecht ist, drehe man die Alhidade um  $90^\circ$ , so dass die Libelle nunmehr über die dritte Stellschraube  $w_2$  zu stehen kommt, und bringe die Blase durch diese Schraube wieder zum Einspielen. Hat sich durch diese Horizontalstellung an der ersten nach  $w_1 w_3$  Nichts geändert, so muss der Kreis nach allen Richtungen wagrecht sein. Um sich hiervon zu überzeugen, führt man das Rohr zunächst in seine erste Richtung zurück, und wenn die Libelle hier einspielt, so kann man es in verschiedene andere Richtungen bringen, wo das Einspielen ebenfalls stattfinden muss. Sollten sich hierbei kleine Ausschläge der Luftblase ergeben, so müsste das eben beschriebene Verfahren von da ab wiederholt werden, wo die Libelle in der Richtung  $w_1 w_3$  wagrecht gestellt wurde. Nach der Horizontalstellung kann man selbstverständlich die Bremsschraube  $q$  am Verticalkreise, welche bisher fest angezogen war, öffnen und das Fernrohr beliebig bewegen, ohne dass dadurch die wagrechte Lage des Horizontalkreises oder die lothrechte Stellung des Verticalkreises im geringsten verändert würde.

Nunmehr kann die Winkelmessung beginnen. Es ist gut, sich anzugewöhnen, zuerst auf den linken Schenkel einzustellen. Man führt durch grobe Drehung der Alhidade und des Verticalkreises das Fernrohr auf das Signal, welches in diesem Schenkel steht, hemmt die groben Drehungen durch die Bremsschrauben  $q$  und  $q'$  und stellt mit Hilfe der Mikrometerschrauben  $r$  und  $r'$  den Durchschnittspunkt des Fadenkreuzes genau auf das Signal ein. Ist dieses eine Stange, so muss man dieselbe so weit als möglich unten anvisiren, um den Einfluss des schiefen Stands, den sie haben kann, auf das Resultat der Messung möglichst zu verringern. Nach dieser Einstellung wird auf beiden Nonien abgelesen und das Ergebniss aufgeschrieben.

<sup>1</sup> Bei bewegter Luft und auch zur Prüfung der mit dem Senkel bewirkten Aufstellung des Stativs kann man sich eines von Prof. Jordan in dessen Taschenbuch der practischen Geometrie, Seite 89 angegebenen, an der unteren Fläche der Stativplatte angeschraubten kleinen Spiegelapparats bedienen.

<sup>2</sup> Sollte dieses Einspielen nicht stattfinden, so müsste nach §. 151, Nr. 4 der halbe Ausschlag durch die Fusschrauben des Dreifusses und die andere Hälfte durch die Mikrometerschraube  $r$  des Verticalkreises weggeschafft werden.

Hierauf löse man die Alhidade und den Verticalkreis, führe das Fernrohr auf das zweite Signal, wiederhole für dieses das eben beschriebene Verfahren, und ziehe schliesslich von je zwei zusammengehörigen Ablesungen die erste von der letzten ab. Wenn das Instrument ganz fehlerfrei gebaut und gehörig berichtigt ist, so werden die beiden Nonien für den gemessenen Winkel eine und dieselbe Grösse liefern. Da jedoch die Voraussetzung eines ganz fehlerfreien Baues nicht gemacht werden darf, so werden die Resultate der Messung in der Regel einen kleinen Unterschied zeigen, weshalb das Mittel aus beiden zu nehmen ist.

Es erscheint vielleicht nicht überflüssig, hier einige Schemata für die Aufzeichnung der Ablesungen mitzutheilen, und die Bemerkung beizufügen, dass, wenn zwischen der ersten und zweiten Einstellung ein Nonius den Nullpunkt der Kreistheilung überschreitet, zu der zweiten Ablesung  $360^\circ$  addirt werden müssen, um aus der Differenz zwischen dieser und der ersten Ablesung den richtigen Winkel zu erhalten.

Standpunkt: Signal S.

(Theodolith Nr. 1. Beobachter N. Tag der Beobachtung.)

Signal.	Nonius I.	Nonius II.	Bemerkungen.
L	102° 40' 20"	282° 40' 20"	L und R gut beleuchtet, Luft etwas bewegt.
R	165 13 50	345 13 50	
Winkel LSR	62° 33' 30"	62° 33' 30"	

Standpunkt: Signal O.

(Theodolith Nr. 2. Beobachter N. Tag der Beobachtung.)

Signal.	Nonius I.	Nonius II.	Bemerkungen.
N	159° 47' 30"	339° 47' 40"	Luft ruhig, etwas dunstig, N heller als P.
P	262 28 50	82 28 50	
Winkel NOP	102° 41' 20"	102° 41' 10"	

Mittel: 102° 41' 15".

Hat man den Höhenwinkel einer Linie zu bestimmen, welche durch die Drehaxe des Fernrohrs geht, so stelle man das Instrument horizontal, visire nach dem entfernten Punkt, welcher mit der Drehaxe die geneigte Linie bestimmt, und lese an den Nonien des Verticalkreises ab. Ist das Instrument fehlerfrei, so werden beide Ablesungen gleich sein. Hat aber der Verticalkreis einen Excentricitätsfehler, so sind die beiden Ablesungen etwas verschieden. Man darf jedoch hier das Mittel aus diesen Ablesungen so lange nicht als den richtigen Winkel ansehen, als man sich nicht über-

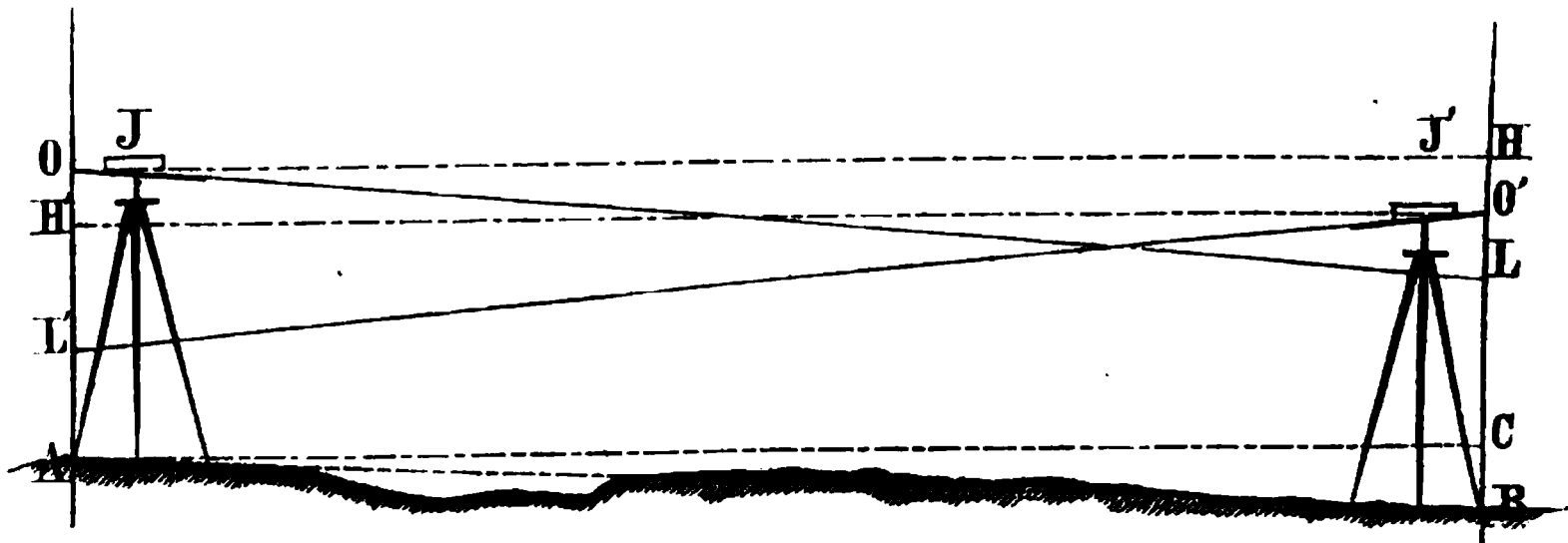
zeugt hat, dass die Nullpunkte der beiden Nonien in einem Durchmesser ihres Theilkreises liegen. Darum ist es besser, nach der ersten Messung eine zweite in der Art zu machen, dass man das Fernrohr durchschlägt, die Alhidade um  $180^\circ$  dreht, das Fadenkreuz wieder genau einstellt und nun abermals auf beiden Nonien abliest. Ist genau gearbeitet worden, so muss jetzt das arithmetische Mittel aus den Ablesungen am ersten Nonius dem Mittel vom zweiten gleich sein. Sollten auch diese mittleren Werthe noch etwas verschieden sein, so wird das Mittel aus allen vier Ablesungen der Wahrheit am nächsten kommen.

§. 150. **Prüfung und Berichtigung.** Die Untersuchungen eines Theodolithen zerfallen in solche, welche ein für allemal vorgenommen werden, und in solche, welche von Zeit zu Zeit zu wiederholen sind. Zur ersten Classe, welche in §. 151 besprochen werden wird, gehört die Prüfung der Kreise und Nonien auf die Richtigkeit ihrer Theilung und auf die senkrechte Lage ihrer Ebenen gegen die Alhidadenaxen; zur zweiten Classe rechnet man folgende Untersuchungen:

- 1) ob die beiden Libellen richtig sind,
- 2) ob die Visirlinie des Fernrohrs senkrecht steht zu dessen Drehaxe,
- 3) ob diese Drehaxe rechtwinklig ist gegen die Alhidadenaxe, und
- 4) ob die Nonien des Verticalkreises auf Null stehen, wenn die Visirlinie des Fernrohrs horizontal ist.

Zu 1. Die Axe der Röhrenlibelle, welche hier fest auf dem Fernrohre ruht, muss mit dessen Absehlinie parallel und die Axe der Dosenlibelle mit der Alhidadenaxe parallel sein; denn nur bei dieser gegenseitigen Lage der Axen lässt sich der Theodolith auf die in §. 149 angegebene Weise horizontal stellen. Ob diese Forderungen erfüllt sind, erfährt man zunächst in Bezug auf die Röhrenlibelle in folgender Weise.

Fig. 188.



Man bezeichne auf einem abschüssigen Boden zwei etwa 100 Schritte von einander entfernte Punkte A und B durch Grundpfähle. Ueber A stelle man den Theodolithen so auf, dass man den lothrechten Abstand des Oculars O von A leicht messen kann, und in B lasse man eine von ihrem Fusspunkte an fein getheilte Latte (L) lothrecht so halten, dass ihre Theilung gegen A gewendet ist. Man richte nun das Ocular des Fernrohrs so, dass



man auf der Latte deutlich lesen kann und bringe durch eine feine Horizontaldrehung das Fadenkreuz in die Mittellinie der Latte. Hierauf stelle man die Libelle horizontal und lese auf der Latte ab. Wir nehmen an, die Visirlinie decke den Punkt L und es sei  $BL = h$ . Ohne an dem bei A stehenden Instrumente das Geringste zu ändern, messe man mit der von B hierher gebrachten Latte die Instrumentenhöhe  $AO = i$ , und nun versetze man den Theodolithen nach B, die Latte aber werde auf A lothrecht gehalten. In B wird dasselbe Verfahren wiederholt, welches eben in A vollendet wurde; seine Ergebnisse seien die Grössen  $AL' = h'$  und  $BO = i'$ .

Aus der Messung in A ergibt sich das Gefäll von A bis B oder wenn AC, OH und O'H' wagrechte Linien sind, der lothrechte Abstand  $BC = BH - HC$ , und aus jener in B die Steigung von B bis A oder wieder der Abstand  $BC = BO' - O'C$ . Es findet folglich die Gleichung statt:

$$BH - HC = BO' - O'C.$$

Nun ist aber, wenn y die Grösse  $HL = H'L'$  bezeichnet, um welche die Visirlinie (OL, O'L') des Fernrohrs auf die Entfernung OH fehl zeigt,  $BH = BL + HL = h + y$ ;  $HC = AO = i$ ;  $BO' = i'$ ; und  $O'C = AH' = AL' + H'L' = h' + y$ ; daher auch, wenn man diese Werthe in obige Gleichung setzt und daraus y sucht:

$$y = \frac{i + i'}{2} - \frac{h + h'}{2}. \quad (98)$$

Wäre die Visirlinie (OL, O'L') des Fernrohrs mit der Libellenaxe parallel, so müsste sie bei horizontalem Stande der Libelle offenbar mit der durch die Mitte des Oculars (O, O') gelegt gedachten Horizontalen (OH, O'H') zusammenfallen und y null machen. Wenn also die arithmetischen Mittel aus den Instrumenten- und Lattenhöhen einander nicht gleich sind, so ist auch die Libellenaxe der Visirlinie nicht parallel.

Aufgabe der Berichtigung ist es nun, die Libelle gegen das Fernrohr so zu stellen, dass diese Mittel einander gleich werden. Zu dem Ende berechne man aus den gemessenen Grössen i, i', h, h' die Abweichung y, füge dieselbe zu der bei L' abgelesenen Zahl und verbessere die Libelle auf dem in B noch unverrückt stehenden Instrumente so lange, bis bei einspielender Luftblase das Fadenkreuz auf die Zahl  $h' + y$  zeigt. Die Berichtigung erfordert, dass man erst die Schraube bei a ein wenig lüftet und dann die Schraube a', der eine Spiralfeder entgegenwirkt, vor- oder rückwärts dreht. Damit eine Drehung um die unterhalb a liegende krumme Auflagfläche möglich wird, ist der Ansatz der Libellenfassung bei a etwas weiter gebohrt als die Schraubenspindel erfordert.

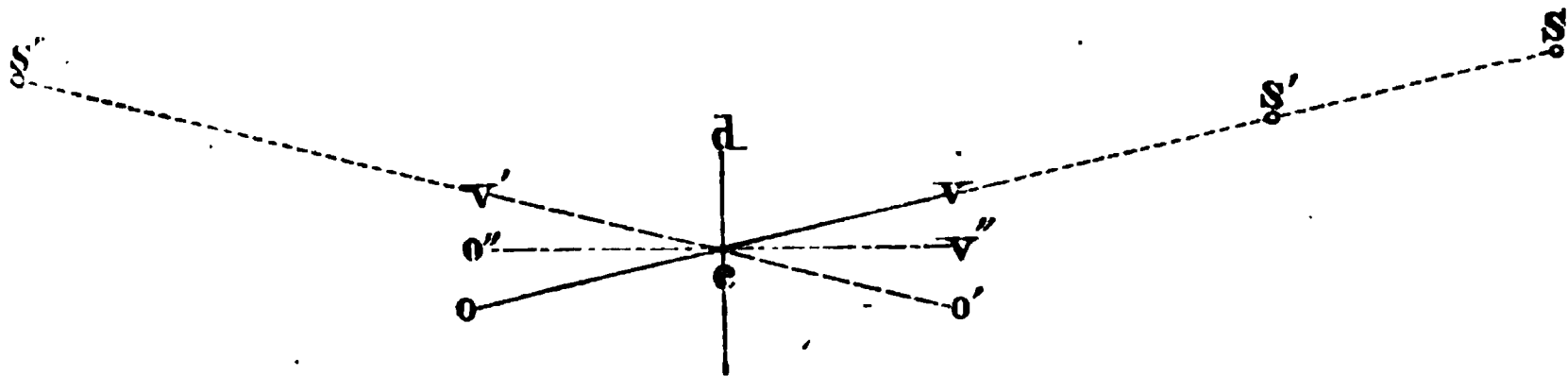
(Statt des hier angegebenen Verfahrens könnte man auch, mit geringer Abänderung, das am Schlusse des §. 127, S. 197 mitgetheilte anwenden.)

Was die Untersuchung der Dosenlibelle betrifft, so ist diese bei berichtigter Röhrenlibelle sehr einfach. Denn man braucht nur mit dieser den Theodolithen horizontal zu stellen und zuzusehen, ob die Luftblase der Dosenlibelle fortwährend einspielt, wie auch der Alhidadenkreis gedreht

werden mag. Fände dieses Einspielen nicht statt, so müsste es durch die Stellschraubchen  $\alpha$ ,  $\alpha$  (Fig. 187, §. 148 am Schlusse) herbeigeführt werden.

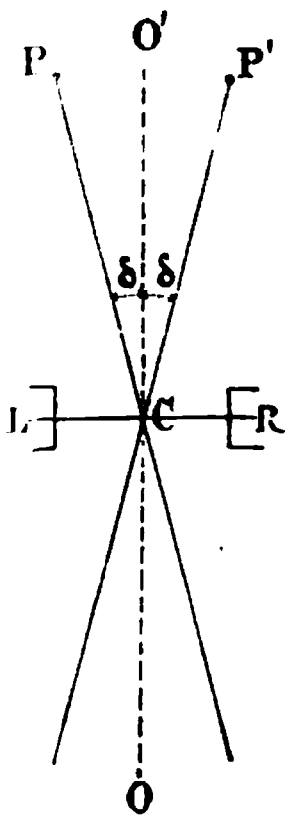
Zu 2. Die Visirlinie des Fernrohrs muss zu dessen Drehaxe senkrecht stehen, damit sie eine Ebene beschreibt. Ob diese Stellung stattfindet, erfährt man auf verschiedenen Wegen. Ein sich unmittelbar anbietender, jedoch eine ausgedehnte ebene Fläche und die Versetzung des Instruments von der ersten Beobachtungsstelle nach einem zweiten sehr entfernten Orte erfordernder Weg ist, dass man den Theodolithen an einer beliebigen Stelle eines Felds oder einer Wiese horizontal stellt und in Entfernungen von 50 bis 80<sup>m</sup> zwei Stäbe S und S' so aussteckt, dass sie in ihrer lothrechten Stellung von dem Fadenkreuze des Fernrohrs gedeckt werden, hierauf das Fernrohr durchschlägt und auf der entgegengesetzten Seite des Instruments abermals einen Stab S'' in die neue Visirlinie stellt. Liegen diese drei Stäbe in gerader Linie, so ist die Visirlinie des Fernrohrs senkrecht zur Drehaxe, ausserdem nicht. Denn stellt in Fig. 189 die Linie d e die Dreh-

Fig. 189.



axe und o v die Visirlinie des Fernrohrs vor, so liegen die Stäbe S und S' in der Linie o v; wäre diese senkrecht zu d e, so müsste nach der Drehung des Fernrohrs um diese Axe die neue Visirlinie o' v' mit der alten o v zusammenfallen und folglich auch S'' in der Richtung v o oder in S S' liegen. Wenn aber o v schief gegen d e steht, so können die Richtungen o v, o' v' und folglich auch die durch sie bestimmten Geraden S S' und e S'' nicht zusammenfallen. Aus der gegenseitigen Stellung der Stäbe und des Instruments erkennt man leicht, nach welcher Seite hin die Visirlinie durch die Schraubchen f, f an der Ocularröhre zu verstellen ist.

Fig. 190.



Ein anderes sehr bequemes Verfahren die Stellung der Visirlinie und der Drehaxe des Fernrohrs gegen einander zu untersuchen, besteht darin, dass man von einem festen Standpunkte (z. B. einer Fensterschwelle) aus mit dem Fernrohre des horizontal gestellten Theodolithen einen sehr entfernten Punkt P (Fig. 190) anvisirt, hierauf die Drehaxe in ihren Lagern umlegt, ohne an diesen das geringste zu ändern, und zusieht, ob das Fernrohr lediglich durch Kippen wieder auf P eingestellt werden kann oder nicht: geht die neue Visirlinie an P vorüber nach P', so ist der Winkel  $PCP' = 2\delta$ , d. i. gleich dem



doppelten Fehler<sup>1</sup> in der Lage der genannten beiden Axen, und es muss derselbe durch Verstellung des Fadenkreuzes weggeschafft werden.

Ein dritter ebenfalls bequemer, jedoch eine genaue Theilung des Horizontalkreises voraussetzender Weg zur Prüfung der gegenseitigen Stellungen der optischen und Drehaxe des Fernrohrs ist folgender: Man stelle den Theodolithen horizontal, visire einen weit entfernten Punkt an, lese die Nonien des Horizontalkreises genau ab, drehe dann den Alhidadenkreis genau um  $180^\circ$ , was mit Hilfe der eben gemachten Ablesungen geschehen kann, schlage das Fernrohr durch und sehe zu, ob es sich ohne eine andere Bewegung als Kippen um seine Drehaxe wieder auf den anvisirten Punkt einstellen lässt. Ist dieses der Fall, so stehen die beiden Axen richtig gegen einander; wenn nicht, so bildet die zweite Richtung der Visirlinie mit der ersten einen Winkel, welcher dem doppelten Axenfehler gleich ist.

Auf einem vierten Wege der Untersuchung liesse sich dieser Fehler sogar in vierfacher Grösse zur Anschauung bringen; da aber bei dieser Prüfungsmethode die Aufstellung einer Marke an einem weit entfernten Orte erforderlich ist, so kann sie hier wegbleiben.

Zu 3. Wenn die Drehaxe des Fernrohrs nicht senkrecht zur Alhidadenaxe ist, so beschreibt die Visirlinie bei lothrechter Stellung der Alhidadenaxe keine Verticalebene, und folglich projicirt sie auch den anvisirten Winkelschenkel nicht richtig auf den Horizontalkreis. Darum muss auf der Forderung der rechtwinkligen Stellung beider Axen bestanden werden. Um zu sehen, ob sie erfüllt ist, verschaffe man sich eine lange lothrechte Linie durch einen Senkel oder eine Mauerkante und stelle in beträchtlicher Entfernung davon das Instrument horizontal. Hierauf richte man das Fadenkreuz auf eine beliebige Stelle des Loths und sehe zu, ob dieses von dem Kreuzungspunkte beim Auf- und Niederkippen des Rohrs fortwährend gedeckt wird oder nicht. Findet diese Deckung sowohl in der ersten als in der zweiten Lage des Fernrohrs (also nach dem Durchschlagen und Wiedereinstellen des letzteren) fortwährend statt, so ist die dritte Forderung erfüllt, geht aber das Fadenkreuz vom Lothe weg, so steht die Drehaxe auf der Alhidadenaxe nicht senkrecht. Der auf diese Weise aufgefundene Fehler lässt sich durch Hebung oder Senkung des zweiten Zapfenlagers u., das in Fig. 186 nicht sichtbar ist, wegschaffen. Die Wirkung der hierfür angebrachten Stellschraubchen wird man an jedem vorgegebenen Instrumente sofort sich selbst klar machen.

Statt der hier vorausgesetzten langen lothrechten Linie genügen auch zwei weit von einander abstehende Punkte, wovon man sicher weiss, dass sie einem Lothe angehören. Zu einem gegebenen Punkte P lässt sich aber stets sein vertical unter ihm liegendes Spiegelbild P' finden, wenn man vor

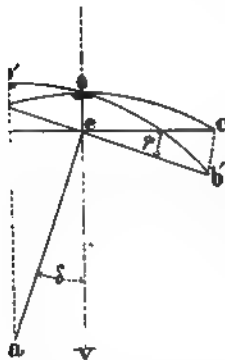
<sup>1</sup> Diesen Fehler nennen mehrere Geodäten den Collimationsfehler des Fernrohrs, da die Visirlinie auch die Collimationsaxe heisst (von collineare, zielen). Wir verstehen darunter nach §. 127, S. 196 allerdings auch einen Zielfehler des Fernrohrs, nämlich den, welchen der Nonius am Verticalkreise anzeigt, wenn die Visirlinie zur Alhidadenaxe senkrecht steht: diesen Fehler nennen jene Geodäten den Indexfehler.

### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

theodolithen einen der in §. 166 beschriebenen natürlichen oder künstlichen Horizonte so aufstellt, dass das Licht von P darauf fallen und nach Reflexion in das Fernrohr gelangen kann. Bei der Prüfung der in stehenden Axenlage kommt es dann darauf an, dass das auf den P eingestellte Fadenkreuz nach dem Kippen des Fernrohrs das Bild bildet.

Wenn die Röhrenlibelle, statt mit dem Fernrohre verbunden zu sein, an der Drehaxe angebracht und dieser parallel gestellt, so lässt sich die oben stehende Untersuchung vereinfachen. Man dürfte nämlich nur, wenn man das Instrument dem Augenspiegel nach hinreichend horizontal hat, die Libelle in die Richtung zweier Fuasschrauben stellen, zum Nullen bringen und hierauf mit der Alhidade in die entgegengesetzte Richtung drehen. Spielt auch hier die Luftblase ein, so ist die Drehaxe nicht zur Alhidadenaxe; weicht sie ab, so zeigt der Ausschlag den vorhandenen Fehler in dem rechtwinkligen Stande beider Axen an. Denn

Fig. 191.



stellt  $ae$  in Fig. 191 die Alhidadenaxe,  $bc$  die Drehaxe des Fernrohrs, und  $bca = 90^\circ - \delta$  oder  $cea = 90^\circ + \delta$  den Winkel vor, welchen beide Axen einschliessen: so wird, wenn vorerst  $bc$  horizontal ist und die Luftblase der Libelle in  $o$  einspielt, nach einer halben Drehung der Alhidade um ihre Axe  $ae$  die Drehaxe die Lage  $c'b'$  annehmen, wobei dann  $b'ea = 90^\circ - \delta$  und  $c'ea = 90^\circ + \delta$  ist, während die Luftblase nach  $o'$  geht und durch ihren Ausschlag den Neigungswinkel  $\phi$  der Drehaxe gegen den Horizont misst. Da nun der Winkel  $cea = ceo + oea = 90^\circ + \delta = c'eb' + b'ea = \phi + 90^\circ - \delta$  ist, so folgt hieraus, was zu beweisen war, nämlich  $\phi = 2\delta$ . Die eine Hälfte des angezeigten Fehlers der Alhidadenaxe, d. h. an den Fuasschrauben des Dreifusses, womit die Drehaxe horizontal gestellt wurde, und die andere Hälfte an dem Lager der Drehaxe zu verbessern.

4. Die vierte Forderung ist nöthig, weil von ihrer Erfüllung die Messung der Höhen- und Tiefenwinkel und auch das Horizontalstellen des Instruments abhängt. Der erste dieser Gründe leuchtet unumwunden ein, während der zweite insofern versteckt liegt, als man erst annehmen muss, dass die parallele Lage der Libellen- und Fernrohraxe für sich noch nicht hinreicht, um den Theodolithen horizontal zu stellen, es hierzu durchaus ein senkrechter Stand dieser beiden Axen gegen die Alhidadenaxe oder ein Parallellaufen mit den Normalquerschnitten des Stativkreises erfordert wird.

Man kann an unserem Instrumente zu untersuchen, wie weit es der Forderung genügt, braucht man nur die Visirlinie des Fernrohrs senkrecht auf

die Alhidadenaxe zu stellen und hierauf den Stand der Nonien abzulesen. Die senkrechte Stellung der Visirlinie erhält man aber dadurch, dass man das Fernrohr in die Richtung zweier Fusschrauben stellt, durch diese die vorher schon berichtigte Libelle zum Einspielen bringt, hierauf das Fernrohr sammt der Libelle um  $180^\circ$  dreht und den Ausschlag der Luftblase, welcher sich nach dieser Drehung zeigt, halb an den Fusschrauben und halb an der Mikrometerschraube  $r$  des Verticalkreises verbessert. Die Begründung dieses Verfahrens ist dieselbe, welche wir eben für die Senkrechtheitsstellung der Dreh- und Alhidadenaxe kennen gelernt haben. Hat man es dahin gebracht, dass die Libelle in zwei entgegengesetzten Lagen des Fernrohrs einspielt, so ist dessen Visirlinie zur Alhidadenaxe senkrecht. Der kleine Bogen, um welchen ein Nullpunkt des Verticalkreises von dem Nullpunkte des nächststehenden Nonius abweicht, heisst der Collimationsfehler dieses Nonius.<sup>1</sup> Um diesen Collimationsfehler würde ein gemessener Höhen- oder Tiefenwinkel zu gross oder zu klein werden, je nachdem der Fehler positiv oder negativ ist. Liesse sich dieser Fehler nicht wegschaffen, so müsste er seiner Grösse und Lage nach angemerkt und bei jeder Messung gehörig in Rechnung gebracht werden. Hier lässt er sich durch die Schraubchen  $c$  und  $c'$ , in deren Spitzen der Nonius läuft, beseitigen. Indem man nämlich  $c$  zurück und  $c'$  um eben so viel vorwärts dreht, bewegt sich der Nonius von  $c'$  nach  $c$ , und umgekehrt. Man kann also, nachdem die winkelrechte Stellung der Visirlinie gegen die Alhidadenaxe vorhanden ist, die betreffenden Nullpunkte leicht so aneinander bringen, dass ihre Theilstriche in eine gerade Linie fallen. (Hätte man es nur mit einem einzigen Nonius zu thun, so liesse sich der Collimations- oder Indexfehler auch dadurch wegschaffen, dass man den Kreuzungspunkt des Fadenkreuzes mittels der verticalen Stellschraubchen etwas hebt oder senkt; ein Verschieben des Nonius wäre dann unnöthig.)

Stünde die Röhrenlibelle nicht auf dem Fernrohre, sondern auf der Drehaxe desselben, so liesse sich der Collimationsfehler wie folgt finden. Man stelle das Instrument horizontal, richte das Fadenkreuz des Fernrohrs auf einen weit entfernten, gut beleuchteten Punkt  $P$ , und lese an dem zu untersuchenden Nonius  $n'$  ab. Diese Ableseung entspricht dem Bogen  $o' n'$  und ist, wenn  $h' h''$  horizontal gedacht wird, in dem vorliegenden Falle gleich dem gesuchten Höhenwinkel  $o' e h' (w)$  plus dem Collimationsfehler  $h' e n'$  ( $c$ ). Nennen wir sie  $a'$ , so ist

$$a' = w + c.$$

Gibt man hierauf der Alhidade eine halbe Drehung um ihre verticale Axe ( $v e$ ), so kommt das Fernrohr  $a b$  in die Lage  $a' b'$ , der Nonius  $n'$  nach  $n''$ , der Nullpunkt  $o'$  nach  $o_1$  und  $o''$  nach  $o_2$ . Schlägt man nun das Fern-

<sup>1</sup> Dieser Name ist dadurch begründet, dass er einen Fehler in der Visirlinie (Collimationsaxe) anzeigt. Häufig nennt man aber nur die Abweichung der Visirlinie von der senkrechten Lage gegen die Drehaxe des Fernrohrs oder die Horizontalaxe des Theodolithen den Collimationsfehler, während die hier vorliegende Abweichung von der senkrechten Lage zur Alhidaden- oder Verticalaxe des Theodolithen der Indexfehler genannt wird. (Seite 245.)

rohr durch, so dass  $a'$  wieder nach  $a$  und  $b'$  nach  $b$ , folglich auch  $o_1$  wieder nach  $o'$  und  $o_2$  nach  $o''$  kommt, stellt hierauf genau auf den Punkt  $P$  ein und liest an dem in  $n''$  stehenden gebliebenen Nonius ab, so gibt diese Ablesung  $a''$  den Bogen  $o''n''$ , welcher um den Collimationsfehler  $c$  zu klein ist, so dass

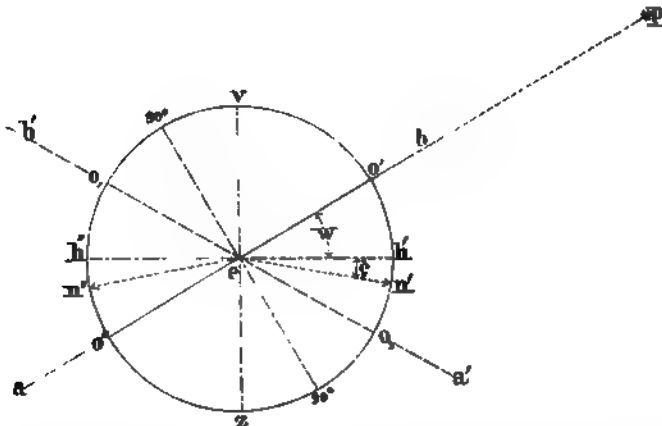
$$a'' = w - c$$

wird. Durch Abziehen erhält man den Collimationsfehler

$$c = \frac{a' - a''}{2}$$

und dieser ist positiv oder negativ, je nachdem  $a'$  grösser oder kleiner als  $a''$  ist. Zieht man den Werth von  $c$  mit seinem Vorzeichen von dem abgelesenen Höhenwinkel ab, so ist die Ablesung verbessert. Bei Tiefenwinkeln ist der Collimationsfehler mit seinem Vorzeichen zur Ablesung zu

Fig. 192.



addiren, um diese zu verbessern. Diese Verbesserung fällt in beiden Fällen weg, wenn man den Nonius in seinem Lager verschiebt, bis  $c = 0$  wird.

Wollte man sich jedoch die Mühe des Aufsuchens und Wegschaffens des Collimationsfehlers nicht geben, so liesse sich sein Einfluss auf den gesuchten Höhen- oder Tiefenwinkel durch dasselbe Verfahren, welches soeben zu seiner Bestimmung angewendet wurde, beseitigen; denn wenn man die Gleichungen  $a' = w \pm c$  und  $a'' = w \mp c$  addirt, so folgt daraus

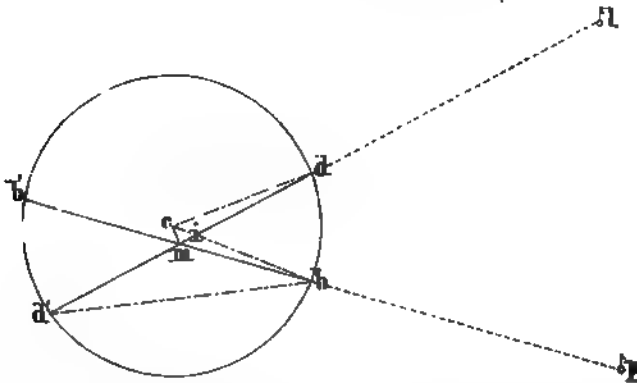
$$w = \frac{1}{2} (a' + a'')$$

d. h. der gesuchte Höhenwinkel ist gleich dem arithmetischen Mittel aus den Ablesungen  $a'$  und  $a''$ , welche den Collimationsfehler noch in sich tragen. Dabei kann dieser Fehler positiv oder negativ sein. Hat man mit dem ersten auch den zweiten Nonius abgelesen und dafür  $a_1$  und  $a_2$  erhalten, so gibt das Mittel aus diesen Ablesungen einen zweiten Werth von  $w$ . Stimmt dieser nicht genau mit dem ersten, so nimmt man aus beiden wiederum das Mittel, um der Wahrheit näher zu kommen.

Es verdient überhaupt bemerkt zu werden, dass es jederzeit besser ist, ein Messverfahren anzuwenden, wobei der Einfluss eines Fehlers am Instrumente vernichtet wird, als diesen Fehler selbst wegzuschaffen oder in Rechnung zu bringen. Diese Bemerkung kommt uns sehr zu statten bei den Untersuchungen, welche sich auf das Zusammenfallen der Alhidadenaxe mit dem Mittelpunkte des Horizontalkreises oder die Concentricität der Alhidade, und auf die Vereinigung der Alhidadenaxe und der Visirlinie in eine Ebene oder die Concentricität des Fernrohrs beziehen. Obgleich aber durch geeignete Beobachtungsmethoden die nachtheiligen Wirkungen der Excentricität der Alhidade und des Fernrohrs beseitigt werden können, so ist es doch nicht überflüssig, die Grösse dieser Wirkungen zu berechnen, weil nur dadurch die Einsicht gewonnen werden kann, dass die genannten Excentricitäten gefährliche Feinde der Winkelmessung sind.

§. 151. Excentricitäts- und Theilungsfehler. Stellt in Fig. 193 c den Mittelpunkt des Limbus und m den Mittelpunkt der Alhidade vor, so

Fig. 193.



heisst die Linie  $cm$  die Excentricität der Alhidade. Misst man mit einem Theodolithen, der diese Excentricität hat, einen Winkel  $lmp = w$ , so erhält man für diesen Winkel aus den Ablesungen bei  $b$  und  $d$  den Bogen  $bd$ , welcher seinen Mittelpunkt in  $c$  hat und daher nicht das Mass des Winkels  $w$ , sondern des Winkels  $dcb = w'$  ist. Der Unterschied  $w - w'$  ist der Fehler  $f$ , welchen die Excentricität der Alhidade in dem gemessenen Winkel veranlaßt und den wir zu bestimmen haben. Zu dem Ende bezeichne

- $e$  die Excentricität ( $cm$ ) der Alhidade,
- $r$  den Halbmesser ( $cd, cb$ ) des Limbus,
- $v$  den Neigungswinkel ( $dcm$ ) der Linien  $cm$  und  $cd$ ,
- $u'$  den sehr kleinen Winkel  $cdm$  und
- $u$  den ebenfalls sehr kleinen Winkel  $cbm$ .

Man findet leicht, dass  $w + u = w' + u'$  und folglich

$$f = w - w' = u' - u$$

ist. Da  $o m$  selbst bei weniger guten Instrumenten nur eine sehr kleine Grösse ist und wohl nie mehr als  $0,2^{\text{mm}}$  beträgt, so kann man  $m b = r$  setzen und mit Hilfe der Dreiecke  $c d m$  und  $c m b$  die Gleichungen bilden:

$$\sin u' = \frac{e}{r} \sin v \quad \text{und} \quad \sin u = \frac{e}{r} \sin (v - w').$$

Wegen Kleinheit der Winkel  $u$  und  $u'$  ist

$$u' = 206265'' \cdot \frac{e}{r} \sin v, \quad u = 206265'' \cdot \frac{e}{r} \sin (v - w')$$

und daher der Excentricitätsfehler des gemessenen Winkels  $w$  gleich

$$f = 206265'' \cdot \frac{e}{r} \left( \sin v - \sin (v - w') \right)$$

$$f = 2 \rho'' \cdot \frac{e}{r} \sin \frac{1}{2} w' \cos (v - \frac{1}{2} w'). \quad (99)$$

Dieser Fehler wird null, wenn  $e$  oder  $\cos (v - \frac{1}{2} w') = 0$  ist. Dem letzteren Falle entsprechen diejenigen Werthe von  $w'$ , welche sich aus den Gleichungen:  $v - \frac{1}{2} w' = 90^\circ$  und  $v - \frac{1}{2} w' = 270^\circ$  ergeben und die beide gleich  $w' = 2v - 180^\circ$  sind. Für ein Instrument mit der Excentricität  $e$  und für einen abgelesenen Winkel  $w'$  wird der Excentricitätsfehler  $f$  am grössten, wenn  $\cos (v - \frac{1}{2} w') = \pm 1$ , d. h. wenn  $v - \frac{1}{2} w' = 0$  oder  $= 180^\circ$ , oder  $w' = 2v$  ist.

Ist z. B. der Winkel  $v = 30^\circ$ , der abgelesene Winkel  $w' = 60^\circ$ , die Excentricität der Alhidade  $e = 0,1^{\text{mm}}$  und der Limbushalbmesser  $r = 0,1^{\text{m}}$ , so wird  $f = 412530'' \cdot 0,001 \cdot 0,5 = 206'',26 = 3'26''$ .

Dieser bedeutende Fehler, welcher aus einer Excentricität der Alhidade von  $\frac{1}{10}$  Millimeter entspringt, fällt aus der Messung des Winkels  $w$  weg, sobald man nicht bloss an dem einen Nonius bei  $b$  und  $d$ , sondern auch an dem anderen bei  $b'$  und  $d'$  abliest und aus den Bögen  $b d$  und  $b' d'$ , die jene Ablesungen liefern, das Mittel nimmt, welches dem gesuchten Winkel  $w$  genau gleich ist. Denn zieht man in Fig. 193 die Linie  $b d'$ , so ist  $w = \text{Winkel } b d' d + \text{Winkel } b' b d' = \frac{1}{2} (b d) + \frac{1}{2} (b' d') = \frac{1}{2} (b d + b' d')$ .

Der Einfluss einer Excentricität des Fernrohrs wird nach der Formel (94), welche in §. 137 für die Excentricität der Visirlinie der Feldbussole aufgestellt wurde, berechnet oder nach dem Verfahren, welches daselbst auseinander gesetzt ist, vernichtet. Da es schwierig ist, die Grössen  $e$  und  $v$ , welche zur Berechnung der Excentricitätsfehler nöthig sind, an einem Theodolithen auszumitteln, so unterlässt man bei Winkelmessungen mit diesem Instrumente diese Rechnung und benützt dafür die Mittel, welche die vorhergehende Betrachtung und der §. 137 an die Hand geben, um den Einfluss der Excentricität des Fernrohrs und der Alhidade zu beseitigen, d. h. man misst jeden Horizontalwinkel mit zwei entgegengesetzten Lagen des Fernrohrs, liest bei jeder Lage des Rohrs die beiden Nonien ab und nimmt aus den vier Bögen, die man so erhält, das arithmetische Mittel für den gesuchten Winkel.

Was die Untersuchung der Kreistheilungen betrifft, so ist diese, wenn

#### Excentricitäts- und Theilungsfehler.

sie mit Strenge geführt werden soll, eben so schwierig als für einfache Theodolithen mag jedoch das folgende mindern genügen. Sind  $n - 1$  Theile des Limbus  $n$  Theilen des so muss, wenn man den Nullpunkt des Nonius auf einen Limbus genau einstellt, auch der  $(n + 1)$ te Theilstrich des Nonius des Limbus genau zusammentreffen. Führt man nun in dem ganzen Kreise so herum, dass der Nullpunkt des ersten zu Strich des letzteren weiter gerückt wird, und zeigt sich auch der  $(n + 1)$ te Theilstrich des Nonius gleichzeitig einen Limbus deckt, so kann man sich mit der Theilung des Limbus vollständig begnügen. Zeigte sich aber an einer Stelle eine so müsste diese Stelle bemerkt und bei späteren Messungen berücksichtigt werden, dass der daselbst stattfindende Fehler gar keine oder in beide Ablesungen kommt, damit er sich bei der Bestimmung des Winkels aufhebt. Wollte man dieses nicht, so müsste der Fehler bestimmt und wenn bei Messungen diese Stelle eingeht, gehörig in Rechnung gebracht werden. Man darf nicht den kundgebenden Fehler nicht sofort als von der Theilung allein ansehen, sondern muss ihn als die Gesamtwirkung der Theilungs- und Excentricitätsfehler betrachten. Eine genaue Ausscheidung der Theilung von der Excentricität ist fast unmöglich, nützt aber eigentlich auch Nichts, da die Summe aller Einflüsse bekannt zu sein braucht.

Ob der Nonius in gleiche Theile getheilt ist, kann man durch vorübergehende Untersuchung den Beweis geliefert hat, dass der  $n$ te Theilstrich genau um  $n - 1$  Theile des Limbus von einem Strich in folgender Weise mit einer für die meisten Messungen hinreichenden Schärfe erforschen. Bekanntlich hat der Nonius vor dem  $(n + 1)$ ten Theilstriche noch eine Uebertheilung. Man kann den äussersten Strich dieser Theilung vor dem Nullpunkte als  $0$  des Nonius ansehen, diesen Strich auf einen des Limbus genau einstellen und untersuchen, ob der  $(n + 1)$ te Strich, von jenem aus gezählt, mit einem Theilstriche des Limbus zusammentrifft oder nicht. So kann man mit dem zweiten, dritten, vierten und letzten Theilstrich der Uebertheilung vor dem Nullpunkte und dem jedem von ihnen entsprechenden  $(n + 1)$ ten Striche der Theilung verfahren. Wendet man dies auch auf die Uebertheilung hinter dem eigentlichen  $(n + 1)$ ten Strich an, so hat man nicht nur beide Uebertheilungen, sondern auch den Nonius die zwei Enden in einer Länge untersucht, welche die Uebertheilungen gleich kommt. Das noch übrig bleibende Uebertheilung des Nonius lässt sich wohl nur dadurch prüfen, dass man nach dem Nullpunkt den Strich desselben genau einstellt und zusieht, ob die zu beiden Seiten weit von ihm abliegenden Noniusstriche gleiche Differenzen entsprechenden Limbustheilen bilden; eine Untersuchung, welche ein sehr geübtes Augenmass und eine gute Lupe erfordert. G

(der Natur der Sache nach) auch weit umständlichere Methoden zur Untersuchung der Theilungen findet man in der ersten und siebenten Abtheilung der „Astronomischen Beobachtungen in Königsberg“ von F. W. Bessel.

Die Horizontalstellung des Limbus durch das in §. 149 beschriebene Verfahren beruht auf der Voraussetzung, dass der Limbus senkrecht steht zur Alhidadenaxe; denn durch jenes Verfahren wird eigentlich nur die Alhidadenaxe lothrecht gestellt. Die genannte Voraussetzung kann auch von dem Mechaniker vollständig erfüllt werden und trifft gewiss bei allen Theodolithen aus guten Werkstätten ein. Wenn man sich aber gleichwohl veranlasst fühlte, sein Instrument auch in dieser Hinsicht zu prüfen, so könnte es dadurch geschehen, dass man erst die Schraubenmutter ( $v$ ) am unteren Ende des Alhidadenzapfens löst, hierauf die bekannte Horizontalstellung vornimmt; dann die Alhidade mit Allem, was sie trägt, vorsichtig aushebt, und schliesslich eine vorher berichtigte feine Röhrenlibelle in mehreren Richtungen auf den Horizontalkreis stellt. Zeigt hierbei die Luftblase keinen Ausschlag, so steht der Kreisrand zur Alhidadenaxe senkrecht; ausserdem fände in jeder Richtung eine dem Ausschlage entsprechende Abweichung von der winkelrechten Lage statt; der stärkste Ausschlag entspräche der grössten Abweichung. Nach dieser Prüfung mit der Libelle muss man sich auch überzeugen, dass die wiedereingesetzte Alhidadenaxe noch lothrecht steht, wenn man sicher sein will, dass die schiefe Stellung des Horizontalkreises nicht erst durch das Ausheben der Alhidade bewirkt wurde. Uebrigens hat, wie in der Lehre von den Messungen gezeigt wird, eine geringe Abweichung der Alhidadenaxe von der senkrechten Lage gegen den Limbus auf die Messung der Winkel fast gar keinen Einfluss, wenn nur die Alhidadenaxe lothrecht und die Drehaxe des Fernrohrs wagrecht ist.

§. 152. **Kleiner Theodolith mit drehbarem Limbus.** Die Veranlassung zur Erfindung der Wiederholungskreise war der Umstand, dass der einfache Theodolith den Einfluss der Theilungsfehler des Limbus nicht zu beseitigen gestattete, weil stets ein und derselbe Kreisbogen zur Messung eines Winkels benutzt wurde. Man sah allerdings bald ein, dass nach und nach der ganze Kreis in Mitleidenschaft gezogen werden könne, wenn man nach jeder einfachen Messung den Theodolithen um den Betrag des gemessenen Winkels von rechts nach links verstellte, und diese Drehungen so oft wiederholte, dass der ganze Limbus ein oder mehrere Male den zu messenden Winkel durchlief. Dieses Verstellen ist jedoch etwas unbequem, und daher hat man in neuester Zeit den Horizontalkreis so am Zapfen des Dreifusses befestigt, dass er mit der Hand grob gedreht werden kann und in Folge seiner Reibung in der Lage feststeht, welche man ihm hiebei gegeben hat. Die kleinen einfachen Theodolithen, welche Ertel & Sohn dahier nach den Angaben von J. H. Franke anfertigen, haben im Wesentlichen die Gestalt des in den Figuren 194 und 195 dargestellten Repetitionstheodolithen, wenn man von demselben die Klemmvorrichtung für den Horizontalkreis ( $k'$ ,  $q'$ ,  $r'$ ,  $y'$ ) wegnimmt; der Durchmesser des kleinen



Ertel'schen Kreises beträgt  $20^{\text{cm}}$  und die Höhe des ganzen Instruments von den Fussplatten  $p$  bis zur Libelle  $o$  ungefähr  $35^{\text{cm}}$ . Die Klemmvorrichtung am Horizontalkreise ist durch einen federnden Ring ersetzt. Der horizontale Nonius hat eine Angabe von 20 Secunden (da  $\alpha = \frac{1}{8}^{\circ}$  und  $n + 1 = 60$ ), der verticale von 1 Minute (da  $\alpha = \frac{1}{4}^{\circ}$  und  $n + 1 = 15$ ). Wer die Einrichtung des nachstehend beschriebenen Wiederholungskreises schon kennt, sieht sofort ein, dass diese hier nachgeahmt ist: ob aber der Horizontalkreis auch dann noch unverrückbar feststehen wird, wenn das Instrument älter geworden ist und der Alhidadenkreis sich nicht mehr so leicht dreht wie anfangs, wird die Erfahrung bald lehren. Wir fürchten, dass sich die beschriebene Construction auf die Dauer nicht bewähren wird.

### Der Repetitionstheodolith.

§. 153. Der centrische von Ertel. In dem mechanischen Institute von Ertel und Sohn in München werden gegenwärtig die meisten Wiederholungskreise mittlerer Grösse in der Form ausgeführt, welche Fig. 194 in der Ansicht und Fig. 195 im Durchschnitte nach der Alhidadenaxe darstellt. Gleiche Theile sind in beiden Figuren gleich bezeichnet.

Der Dreifuss wird mit seinen drei Stellschrauben ( $w_1, w_2, w_3$ )<sup>1</sup>, die man mit den geränderten Köpfen ( $z_1, z_1$ ) dreht, auf drei mit Spitzen in die Unterlage eingreifende Fussplatten ( $p_1, p_1$ ) gestellt und mit dieser Unterlage nicht weiter verbunden, da das Gewicht des ganzen Instruments hinreicht, jede Verrückung bei vorsichtiger Behandlung während der Messung zu verhindern. Die Muttern ( $\delta_1, \delta_1$ ) der Stellschrauben sind aufgeschlitzt und können zur Vermeidung des todten Gangs durch Klemmschrauben ( $\delta_2, \delta_2$ ) angezogen werden. An den Körper des Dreifusses ist eine Büchse ( $t, t$ ) von Gelbguss angeschraubt, um die Axe des Horizontalkreises von Rothguss aufzunehmen, in der die stählerne Alhidadenaxe steckt. Diese Verschiedenheit der Metalle, woraus die Büchse  $t$  des Dreifusses, der hohle Zapfen  $\eta$  des Horizontalkreises und der massive Zapfen  $\zeta$  des Alhidadenkreises bestehen, hat darin ihren Grund, dass das Material des Zapfenlagers immer weicher sein soll als das des Zapfens, damit dessen Gestalt, namentlich sein kreisförmiger Querschnitt, möglichst vollkommen erhalten bleibt.

Der Horizontalkreis ( $h, h$ ) kann verschiedene Grössen haben; an unserem Instrumente beträgt er  $20^{\text{cm}}$ . Der Limbus befindet sich auf einem eingelegten ebenen Ringe von Silber und ist unmittelbar in Sechstelsgrade oder in 2160 gleiche Theile getheilt. Von dem Rande des Kreises laufen Speichen nach einem durchbohrten Mittelstücke ( $\rho, \rho$ ), an das der hohle Zapfen ( $\eta, \eta$ ) dieses Kreises mittels Schrauben senkrecht befestigt ist. Der Horizontalkreis kann somit vollständig im Kreise herumgedreht werden. Zur Hemmung der groben Drehung desselben dient die Klemme  $k'$ , welche mit dem an der Centralbüchse ( $t$ ) feststehenden Arme  $\lambda$  verbunden ist und

<sup>1</sup> Die dritte Stellschraube ( $w_3$ ) blieb der Deutlichkeit wegen aus der Zeichnung weg.





1

2

3

4

5

6

7

8

9

durch die Bremsschraube  $q'$  geschlossen wird. Nachdem diese Schraube angezogen ist, hängt die feine Bewegung des Horizontalkreises nur mehr von der Mikrometerschraube  $r'$  und einer ihr entgegenwirkenden Spirale ab, welche sich in dem Cylindergehäuse  $y'$  (Fig. 194) befindet und daselbst um einen beweglichen Stift, der aus dem Gehäuse hervorragt, gewunden ist. Das Viereck  $i$  in Fig. 195 ist der Schnitt eines an der unteren Klemmplatte feststehenden Ansatzes. Da die Mutter der Mikrometerschraube und das Federgehäuse unbeweglich feststehen, so muss sich der Ansatz  $i$  und mit ihm der Horizontalkreis in dem Ausschnitte des Arms  $\lambda$  bewegen, wie es jene Schraube und die Feder verlangen. Der grösste Bogen, um welchen der Kreis durch die feine Drehung bewegt werden kann, ist, wie man leicht findet, gleich dem Unterschiede zwischen der Weite des genannten Ausschnitts und der Dicke des Ansatzes  $i$  auf der unteren Klemmplatte.

Der Alhidadenkreis ( $h'$ ,  $h'$ ) liegt mit dem Horizontalkreise in einer Ebene und ist durch Schrauben mit einem massiven stählernen Zapfen ( $\zeta$ ) senkrecht verbunden. Die Mittellinie dieses Zapfens, die Alhidadenaxe, muss genau mit jener des hohlen Zapfens des Horizontalkreises zusammenfallen, und beide sollen mit hinreichender Schärfe auf der Ebene beider Kreise senkrecht stehen. Wenn beide Axen nicht eine einzige gerade Linie bilden, so heisst ihr Abstand von einander, in der Alhidadenebene gemessen, die Excentricität der Alhidade. Der massive Centralzapfen endigt, wie Fig. 195 zeigt, unterhalb des Dreifusses in eine Schraube  $\sigma$ , an der eine Mutter ( $\nu$ ) festsetzt. Der Zweck dieses Abschlusses ist, das unabsichtliche Ausheben des Alhidadenkreises zu verhindern. Damit sich der Zapfen dieses Kreises nicht zu fest in den Hohlzapfen des Limbus und dieser wiederum nicht mehr als nöthig in die Centralbüchse des Dreifusses einsenkt, so ruhen beide auf federnden Ringen ( $\iota$ ,  $\iota$ ), welche auf der hohlen Schraube  $x$  liegen, die an dem Dreifusse angebracht ist. In gleicher Weise wie der Horizontalkreis mit dem Dreifusse ist jener mit dem Alhidadenkreise durch eine Klemme ( $k''$ ) und eine Mikrometerschraube ( $r''$ ) verbunden. Zieht man die Bremsschraube  $q''$  an, so drückt sich die Klemme fest an den Rand des Horizontalkreises, und der Alhidade ist nur noch jene feine Bewegung möglich, welche ihr die Mikrometerschraube in Verbindung mit der Spirale und dem beweglichen Stifte in dem Cylindergehäuse ( $y''$ ) gestatten. Diese Bewegung geht vor- oder rückwärts, je nachdem man die Schraube  $r''$  dreht, und durch sie wird das Fadenkreuz des Fernrohrs im horizontalen Sinne genau eingestellt.

Die vier Nonien ( $n_1$ ,  $n_1$ ), welche die Alhidade trägt, sind wie der Limbus von Silber und stehen  $90^\circ$  von einander ab. Ihre Angabe beträgt 10 Secunden, da 60 Noniustheile 59 Limbustheilen à 10 Minuten gleich sind, und ihre Bezifferung läuft wie die des Kreises von links nach rechts. Da 6 Theile des Nonius einer Angabe von 6mal 10 Secunden oder einer Minute und 12 Theile zwei Minuten entsprechen, so ist wegen Mangels an Raum nur jeder zwölfte Theilstrich, von 0 an gerechnet, beziffert, die Zahl 2

n, die Zahl 4 entspricht 24 Theilen oder , welche dem 60sten Theilstriche, von Minuten bezeichnet. Die Vielfachen von Minuten entsprechen, sind durch einen Theilstrich von 60 Theilen kenntlich gemacht. Auf diese Weise ist das Abzählen der Noniustheile sehr erleichtert, indem man immer nur noch von 1 bis 5 zu zählen hat. Für jeden Nonius ist eine Lupe ( $l_1$ ) und ein Blendröhrchen ( $\beta_1$ ) vorhanden.

Das Fernrohr (f) wird von zwei Doppelarmen (g, g') getragen, welche sich über dem Alhidadenkreise erheben und auf dessen Mittelstück festgeschraubt sind. Die Drehaxe (e, e') des Rohrs ist von Rothmetall und ihre Zapfen sind von Stahl, die Lager von Messing. Da diese Axe zur Alhidadenaxe genau senkrecht stehen muss, so kann das rechte Lager (u) durch vier Stellschraubchen ( $\alpha$ ,  $\alpha'$ ) gehoben, gesenkt und wieder festgemacht werden. Die Arme g, g' sind so hoch, dass man das Fernrohr mit der Ocularseite durchschlagen kann. Die Länge des Rohrs beträgt 40<sup>cm</sup> und die Oeffnung des Objectivs 4<sup>cm</sup>; das astronomische Ocular gewährt eine 25-malige Vergrößerung. Die Ocularröhre wird durch das Getrieb in der Objectivröhre verschoben und das Fadenkreuz durch die vier Stellschraubchen  $z$ ,  $z'$  und den Ring  $z$  nach §. 70 berichtet.

Der Verticalkreis ( $v$ ) ist ausserhalb eines der Lager u auf der Drehaxe des Fernrohrs befestigt. Sein Mittelpunkt liegt in dieser Axe und seine Ebene steht senkrecht darauf. Damit er das Gleichgewicht in Bezug auf die Alhidadenaxe nicht stört, ist der Drehzapfen am zweiten Lager mit einem Gegengewichte  $\pi$  beschwert. Der Durchmesser des Verticalkreises beträgt bei 7zölligen Wiederholungskreisen gewöhnlich 5½ Zoll. Bei dieser Grösse wird der silberne Limbus in Sechseckelgrade und jeder der beiden diametral gegenüberstehenden Nonien so getheilt, dass man bis auf 10 Sekunden ablesen kann. Zwei Lupen (l, l') erleichtern dieses Geschäft. Die Nonien bewegen sich in den Armen ihrer Träger (d, d') zwischen Schraubenspitzen ( $c$ ,  $c'$ ), damit man ihre Nullpunkte richtig stellen oder die Collimationsfehler wegschaffen kann. Die grobe Drehung des Verticalkreises oder des Fernrohrs hängt von der Bremsschraube q ab, welche, wenn sie angezogen ist, die Drehaxe e mit dem Hebel i fest verbindet und dadurch bewirkt, dass die grobe Drehung aufhört. Nach Aufhebung dieser Drehung ist eine feine mit Hilfe der Mikrometerschraube r innerhalb der Grenzen möglich, welche die Arme des festgeschraubten Trägers der Mikrometerbewegung gestatten. Die besondere Einrichtung dieser Bewegung ist der auf Seite 256 erklärten ähnlich.

Die Röhrenlibelle (o), welche zur Horizontalstellung des Instruments dient, steht hier mittels langer Füsse ( $\varphi$ ,  $\varphi'$ ) auf zwei genau cylindrisch abgedrehten Stellen (e, e') der Drehaxe des Fernrohrs und wird in dieser Stellung durch zwei oberhalb des Zapfenlagers angebrachte Schliessen (s, s') festgehalten. Die Verbindung der Röhre mit dem halbcylindrischen Lager

o und dieses Lagers mit den Füßen ist nach §. 42 und Fig. 24 bewerkstelligt. Die zwei Stellschraubchen  $c, c$  dienen dazu, die Libellenaxe mit der Drehaxe in eine Ebene zu bringen, und die übrigen beiden Schraubchen  $a, b$  werden zur Parallelstellung beider Axen nach §. 42 und Fig. 22 gebraucht. Wenn die Libellenaxe in jeder Weise richtig gestellt ist, wird die vorher etwas gelüftete Fassung der Röhre durch zwei Plättchen  $p, p'$ , welche sich an der Aussenseite der Füße befinden, mit diesen wieder fest verbunden. Ausser der auf der Drehaxe befindlichen Röhrenlibelle o kann man auch eine zweite auf die cylindrischen Ringe  $f, f$  des Fernrohrs, mit dessen Axe parallel, aufsetzen, um die Visirlinie horizontal stellen und das Instrument zum Nivelliren benützen zu können. Eine Schliesse  $s'$  dient zum Festhalten dieser zweiten Libelle auf dem Fernrohre. Schlägt man das letztere durch, so kann man mit Hilfe der unteren Schliesse  $s''$ , welche alsdann oben ist, die Libelle auch nach oben versetzen. Dass die Libelle o beim Durchschlagen des Fernrohrs abgehoben werden muss, versteht sich von selbst.

§. 154. **Aufstellung und Gebrauch.** Die Aufstellung des wiederholenden Theodolithen ist von der des einfachen nicht wesentlich verschieden. Er wird entweder wie dieser auf ein Stativ oder unmittelbar auf eine feste ebene Unterlage von Stein oder Holz mit nahezu wagrechter Oberfläche gestellt, auf welcher der Scheitel des zu messenden Winkels nach §. 93 bezeichnet ist. Wir setzen hier einen Standpunkt der zweiten Art und ein völlig richtiges Instrument voraus. Nachdem man den Centralzapfen  $\zeta$  oder die Schraube  $x$  in das Loth des Winkelscheitels gebracht hat, stelle man den Verticalkreis auf Null ein und drehe die Alhidade so, dass das Fernrohr über die Fusschraube  $w_3$ , seine Drehaxe aber in die Richtung  $w_1 w_2$  der beiden übrigen Schrauben des Dreifusses zu stehen kommt. Bringt man nun mit den Schrauben  $w_1$  und  $w_2$  die Libelle auf der Drehaxe und durch  $w_3$  die Libelle auf dem Fernrohre zum Einspielen, so muss die Alhidadenaxe lothrecht und folglich der Kreis wagrecht stehen, wenn, wie hier angenommen, der Theodolith fehlerfrei gearbeitet und ganz und gar berichtigt ist. Wollte man die Libelle auf dem Fernrohre zur Horizontalstellung nicht benützen, oder wäre sie gar nicht vorhanden, so brauchte man auch nicht den Verticalkreis auf Null zu stellen (weil dadurch doch bloss die Fernrohraxe eine senkrechte Richtung zur Alhidadenaxe erhält), sondern würde sofort die Drehaxe in die Richtung  $w_1 w_2$  und die Libelle o zum Einspielen bringen und sich hierauf durch eine halbe Umdrehung der Alhidade, wobei also die Drehaxe wieder in der Richtung  $w_1 w_2$  steht; überzeugen, ob wirklich die Dreh- und Libellenaxe mit der Alhidadenaxe einen rechten Winkel bilden, was der Fall ist, wenn nach jener halben Drehung die Luftblase wieder einspielt.<sup>1</sup> Steht nunmehr der Kreis in der Richtung

<sup>1</sup> Sollte sich hierbei ein Ausschlag der Blase ergeben, so würde er auf eine schiefe Stellung der Dreh- und Libellenaxe gegen die Alhidadenaxe deuten und müsste nach §. 150 halb an einer der Fusschrauben  $w_1$  oder  $w_2$  und halb an der Drehaxe verbessert werden, vorausgesetzt, dass diese mit der Libellenaxe parallel ist.

$w_1$ ,  $w_2$  wagrecht, so gibt man der Drehaxe eine zu dieser Richtung senkrechte Stellung, indem man sie durch eine Vierteldrehung der Alhidade über die Fusschraube  $w_3$  bringt. Mit dieser Schraube wird die Libellenaxe auch in dieser Richtung wagrecht gestellt, und nachdem dieses geschehen, überzeugt man sich abermals von der winkelrechten Lage der Dreh- und Alhidadenaxe durch eine halbe Umdrehung der Alhidade, wie vorhin. Da durch die Horizontalstellung in der zweiten Richtung die wagrechte Lage der ersten etwas verändert worden sein kann, so führt man die Alhidade nochmals um  $90^\circ$  in ihre erste Stellung zurück und sieht zu, ob die Libelle einspielt oder nicht: im ersteren Falle steht der Kreis richtig, im letzteren wiederholt man das ganze Verfahren so lange, bis sich bei ganz langsamer Drehung der Alhidade die Luftblase der Libelle nicht mehr von ihrer Stelle bewegt.

Nunmehr kann, wenn die Beleuchtung der in den Winkelschenkeln stehenden Signale günstig ist, die Messung des Winkels durch Wiederholung beginnen. Man kann hierbei den Alhidadenkreis auf Null einstellen oder nicht. Will man, dass die erste Ablesung  $a$  am Nonius I null ist, so bringe man den Nullpunkt dieses Nonius nahe an den Nullpunkt der Theilung, klemme die Alhidade am Horizontalkreise mittels der Bremsschraube  $q''$  fest und stelle durch die Mikrometerschraube  $r''$  unter Benützung der Lupe die Nullpunkte genau auf einander. Auf den übrigen drei Nonien muss selbstverständlich abgelesen werden, da man nicht annehmen darf, dass ihre Nullpunkte beziehlich genau auf  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$  stehen. Alsdann lüfte man durch die Bremsschraube  $q'$  den Horizontalkreis und drehe diesen mit der Alhidade so weit, dass das Fernrohr nach dem Signal L im linken Schenkel steht. Nun ziehe man die Schraube  $q'$  wieder an und bringe das Fadenkreuz des Fernrohrs durch die Mikrometerschrauben  $r'$  und  $r$  zur genauen Deckung mit einem bestimmten Punkte des Signals L. Nachdem dieses geschehen, löse man die Alhidade von dem feststehenden Horizontalkreise, führe sie nach dem Signal R im rechten Schenkel und stelle das Fernrohr auf eine bestimmte Stelle dieses Signals genau ein. Will man die Grösse des zu messenden Winkels schon jetzt annähernd erfahren, um danach am Schlusse der Messung die Anzahl ( $m$ ) der Ueberschreitungen des Limbus-Nullpunkts durch die verschiedenen Nonien zu beurtheilen, so lese man einen der Nonien, am besten den ersten, ab und schreibe das Ergebnis dieser Ablesung auf. Die nächste Arbeit besteht in der Lüftung der Bremsschraube  $q'$ , der Drehung des Horizontalkreises sammt Alhidade, bis das Fernrohr wieder in die Richtung des linken Schenkels kommt, der Klemmung des Horizontalkreises und der Einstellung des Fadenkreuzes mit Hilfe der Schrauben  $r'$  und  $r$ . Darauf folgt wieder die Lösung der Alhidade, ihre Drehung nach rechts und das Einstellen der Visirlinie auf das Signal R. Die beiden letzten Operationen werden so oft vorgenommen, als man den Winkel repetiren will. Am Ende der letzten ( $n$ ten) Wiederholung liest man alle vier Nonien ab und bemerkt die Ablesungen in derselben Weise,

### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

ersten. Da man den einfachen Winkel schon annähernd kennt, so ist es leicht zu bestimmen, wie gross die Zahl  $m$  für jeden Nonius ist, ergibt sich somit der gesuchte Winkel nach Gleichung (97) zunächst für jeden Nonius, und hierauf, wenn man aus diesen vier Ergebnissen das Mittel nimmt, für alle Nonien.

durch diese Messung der Einfluss der Excentricität des Fernrohrs, wenn vorhanden ist, nicht beseitigt wird, so wiederholt man dieselbe eben beschriebenen Weise, nachdem man vorher das Fernrohr durchgedreht oder, wie man sich ausdrückt, von der „ersten“ in die „zweite“ Lage gebracht hat. Dieser Umstand wird bei der Aufschreibung, welche folgender Weise geschehen kann, ebenfalls bemerkt.

#### Standpunkt: Signal S.

Messung mit dem Fernrohre in der ersten Lage.

Nonius.	Anfang.			Ende.			Einfacher Winkel.			Bemerkungen.
	Grad.	Min.	Sec.	Grad.	Min.	Sec.	Grad.	Min.	Sec.	
I.	0	0	0	265	58	45	62	35	45	Wiederholungen: 10. Beleuchtung: gut. Himmel: heiter. Luft: rein. Wind: schwach.
II.	90	0	10	355	58	53	—	—	—	
III.	180	0	0	85	58	47	—	—	—	
IV.	269	59	55	175	58	40	—	—	—	

der einfach gemessene Winkel  $62^{\circ} 35' 45''$  beträgt und 10 Wiederholungen gemacht wurden, so ist nach Gleichung (97) für die Nonien I die Zahl  $m = 1$  und für die Nonien III und IV  $m = 2$ ; daher für

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{360^{\circ} + 265^{\circ} 58' 45'' - 0^{\circ} 0' 0''}{10} = 62^{\circ} 35' 52'',5 \\
 w &= \frac{360^{\circ} + 355^{\circ} 58' 53'' - 90^{\circ} 0' 10''}{10} = 62^{\circ} 35' 52'',3 \\
 w &= \frac{720^{\circ} + 85^{\circ} 58' 47'' - 180^{\circ} 0' 0''}{10} = 62^{\circ} 35' 52'',7 \\
 w &= \frac{720^{\circ} + 175^{\circ} 58' 40'' - 269^{\circ} 59' 55''}{10} = 62^{\circ} 35' 52'',5
 \end{aligned}$$

alle Nonien zusammen bei der ersten Lage des Fernrohrs der Winkel

$$w_1 = 62^{\circ} 35' 52'',5.$$

eine zehnmalige Wiederholung des Winkels bei der zweiten Lage

$$w_2 = 62^{\circ} 35' 58'',3.$$

der richtige, von jeder Excentricität befreite Winkel

$$w = \frac{1}{2} (w_1 + w_2) = 62^{\circ} 35' 55'',4.$$

Messung der Verticalwinkel geschieht wie bei dem einfachen Theo-



§. 153. Prüfung und Berichtigung. Am Repetitions-Theod hat man, mit Ausnahme einer einzigen, dieselben Untersuchungen nehmen, welche für den einfachen bereits in den §§. 150 und 151 ehen wurden, wir brauchen daher hier nur Weniges zu bemerken.

1) Die Untersuchung der Libellen ist hier leichter als bei dem beschriebenen einfachen Theodolithen; denn sowohl die auf dem Fe als die auf dessen Drehaxe stehende Libelle lässt sich umsetzen. wendet daher auf beide das in §. 43 erörterte Prüfungsverfahren an

2) Ob die Visirlinie des Fernrohrs zu dessen Drehaxe senkrecht erfährt man entweder auf die in §. 150 Nr. 2 angegebene oder au die folgende Weise, welche vor jener den Vorzug hat, dass sie auf kleinen Raume vorgenommen werden kann, aber voraussetzt, da ausser dem Theodolithenfernrohr noch zwei andere mit Fadenkreuz achene Fernrohre hat. Stellt man in jedem dieser zwei Fernroh Fadenkreuz genau in die Bildebene des Objectivs, so tritt das vo Fadenkreuze kommende Licht parallel mit der optischen Axe au de jectiv, und es kann folglich das Fadenkreuz selbst durch ein zweite rohr gesehen werden, dessen Objectiv diese Parallelstrahlen aufnimmt stelle nun die beiden Fernrohre in einiger Entfernung von einander dass das Fadenkreuz des einen das Fadenkreuz des anderen genau In diesem Falle liegen die Visirlinien beider Rohre in einer geraden Hierauf bringe man den zu untersuchenden Theodolithen so zwischen Fernrohre, dass die Visirlinie seines Fernrohrs mit der des ersten Hi rohrs zusammenfällt, was der Fall ist, sobald dessen Fadenkreuz vo Fadenkreuze des Theodolithenfernrohrs gedeckt wird. Diese Operati urrsacht zwar einige Mühe, indem man den Theodolithen mehrere Mal und tiefer stellen oder seitwärts verrücken muss, aber sie erfordert im Ganzen nicht mehr Zeit als das früher angegebene Verfahren. nun die Visirlinie des Fernrohrs zu dessen Drehaxe senkrecht steht, das Fadenkreuz des Theodolithenfernrohrs, nach dem Durchschlag letzteren, auch das Fadenkreuz des zweiten Hilfsfernrohrs decken. diese Deckung nicht statt, so ist, wie leicht zu beweisen, die Häi angezeigten Abweichung an dem Fadenkreuze des Theodolithenfe durch die Stellschraubchen  $z, z$  und die übrige Hälfte an der A durch die Mikrometerschraube  $r''$  zu verbessern. Wenn nach dieser Verbesserung die Fadenkreuze des Hauptrohrs und des zweiten Hi rohrs sich decken, so führt man das zu untersuchende Fernrohr oc in die erste Lage zurück und überzeugt sich von dem jetzigen Star Fadenkreuze gegen einander. Eine sich kundgebende Abweichung tigt man wie vorhin. Nach einigen Versuchen wird das Theodolith rohr in der ersten und zweiten Lage keine Abweichung mehr zeig also eine zur Drehaxe senkrecht stehende Visirlinie haben.

Wenn die Voraussetzung, auf der das eben beschriebene Pr verfahren beruht, nicht erfüllt werden kann, so wende man di

von Reichenbach herrührende und in §. 150 unter Nr. 2 beschriebene, auf dem Umlegen der Drehaxe des Fernrohrs beruhende Untersuchungsmethode an.

3) Da bei dem Ertel'schen Repetitions-Theodolithen eine Libelle auf der Drehaxe des Fernrohrs steht, so gilt für die Untersuchung der Lage der Drehaxe gegen die Alhidadenaxe das zweite der in Nr. 3 des §. 150 beschriebenen Verfahren. Der von der Libelle angezeigte Fehler wird zur Hälfte durch die Stellschraubchen  $\alpha, \alpha$  des einen Zapfenlagers und halb durch die Fusschrauben beseitigt, indem man nach Erforderniss jenes Lager und den Alhidadenkreis ein wenig hebt oder senkt. Die Wirkungsweise der Schraubchen  $\alpha, \alpha$  ist so einfach, dass eine nähere Erklärung derselben überflüssig erscheint. Wenn man untersuchen will, ob die Zapfen der Drehaxe des Fernrohrs genau cylindrisch sind, so braucht man nur die auf ihnen stehende Libelle abzulesen und zuzusehen, ob die Luftblase unverändert stehen bleibt, wenn das Fernrohr vorsichtig um  $360^\circ$  gedreht wird: wäre dieses nicht der Fall, und zeigte sich die beobachtete Abweichung der Luftblase wiederholt an derselben Stelle, so müssten die Zapfen frisch abgedreht oder durch neue ersetzt werden. Wären die Zapfen zwar cylindrisch aber ungleich dick, so würde auch dieses die Libelle anzeigen, wenn man sie in einer ersten Lage zum Einspielen brächte, dann die Zapfen in andere Lager umsetzte und die Libelle wieder in der früheren Richtung darauf stellte: ein allenfallsiger Ausschlag würde den doppelten Winkel anzeigen, den die in der Ebene der Zapfenaxe liegenden Geraden einschliessen, welche die beiden Zapfenquerschnitte verbinden. Auch diesen Fehler könnte nur der Mechaniker beseitigen. (Statt der Libellen kann man zu den hier erwähnten Untersuchungen auch Fühlhebel anwenden, doch ist das Anbringen derselben am Instrumente stets mit Umständen verknüpft, daher weniger zu empfehlen.)

4) Was die Bestimmung und Beseitigung des Collimationsfehlers der Nonien am Verticalkreise betrifft, so gilt hier Alles, was darüber in Nr. 4 des §. 150 mitgetheilt wurde. Dasselbe gilt für §. 151 hinsichtlich der Untersuchung der Theilungs- und Excentricitätsfehler.

5) Die besondere Prüfung, welche dem Repetitionstheodolithen im Vergleich mit dem einfachen zukommt, bezieht sich auf die gegenseitige Stellung der Axen der Alhidade und des Horizontalkreises. Diese Axen sollen bekanntlich zusammenfallen und auf den Ebenen der Kreise senkrecht stehen. Fallen sie nicht zusammen, so sind sie entweder parallel oder nicht: in beiden Fällen findet eine Excentricität der Alhidade statt, und in letzterem Falle kommt zu dieser Excentricität noch die schiefe Lage des Limbus gegen den Alhidadenkreis. Daraus entspringt zunächst ein kleiner Fehler im Ablesen und hierauf ein zweiter grösserer dadurch, dass bei der Drehung des Horizontalkreises mit der Alhidade die Axe der letzteren, welche anfänglich lothrecht stand, in eine schiefe Stellung kommt, welche sich nothwendig auch der Drehaxe des Fernrohrs mittheilt. Sobald aber diese Axe nicht

mehr horizontal ist, beschreibt auch die Visirlinie des Fernrohrs keine Verticalebene mehr und es wird folglich der zu messende Winkel nicht richtig projicirt. Dreht man bei einer Repetitionsmessung den Horizontalkreis nach und nach um  $360^0$ , so beschreibt offenbar die Alhidadenaxe, je nachdem sie die Limbusaxe schneidet oder nicht, eine Kegelfläche oder ein Hyperboloid um die Limbusaxe, und die Drehaxe des Fernrohrs neigt sich nach und nach gleich viel im entgegengesetzten Sinne gegen die zwei Hälften des Horizontalkreises. Setzt man daher die Repetition so lange fort, dass dieser Kreis ein, zwei oder drei Mal ganz gedreht wird, so gleichen sich die aus der schiefen Lage der Drehaxe entstehenden Fehler unter einander fast ganz aus, während der Fehler im Ablesen, der aus dem schiefen Stande des Limbus hervorgeht, so unbedeutend ist, dass er vernachlässigt werden darf.

Wenn nun auch eine geringe Abweichung der Limbus- und Alhidadenaxe von der parallelen Lage wenig schadet — und nur eine geringe nehmen wir an — so ist es doch nicht überflüssig, zu untersuchen, ob der Theodolith eine solche Abweichung hat oder nicht. Zu dem Ende stelle man die Alhidadenaxe auf die im vorigen Paragraphen angegebene Weise genau lothrecht und drehe hierauf den Horizontalkreis sammt der Alhidade um  $180^0$ . Zeigt sich nach dieser Drehung ein Ausschlag an der Libelle, so entspricht dieser dem doppelten Neigungswinkel der Limbus- und Alhidadenaxe in der Projection auf eine Ebene, welche durch die Drehaxe des Limbus und die Libellenaxe geht. Wiederholt man dieses Verfahren in mehreren Richtungen, so erfährt man für jede derselben die Projection des Neigungswinkels der genannten beiden Axen. Beobachtet man hierbei die Horizontalwinkel, welche die verschiedenen Richtungen der Libellenaxe mit einander bilden, so kann man hieraus und aus den bekannten Projectionen die gegenseitige Lage der Axen im Raume durch Rechnung ableiten.

§. 156. Excentrischer Theodolith von Ertel. Der vorher beschriebene Repetitionstheodolith erfordert, um das in der Mitte angebrachte Fernrohr durchschlagen zu können, einen ziemlich grossen Abstand der Drehaxe dieses Rohrs von dem Horizontalkreise, und damit eine beträchtliche Constructionshöhe. Diese lässt sich aber vermindern, wenn man das Fernrohr ausserhalb der Alhidadenaxe anbringt, wie es bei Ertel und Sohn dahier in neuerer Zeit bei den kleinen Wiederholungskreisen geschieht, die in grosser Zahl für ausländische Vermessungen anzufertigen sind.

Fig. 196 stellt einen solchen Theodolithen dar, und eine einfache Vergleichung desselben mit dem in Fig. 194 und 195 abgebildeten und in §. 153 beschriebenen Repetitionstheodolithen zeigt, dass der Unterschied beider lediglich in der verschiedenen Stellung des Fernrohrs und der dadurch bedingten Abänderung des Fernrohrträgers liegt. Wir werden desshalb hier auch lediglich diesen Unterschied ins Auge fassen, und zwar nur in Bezug auf den Gebrauch des Instruments, da der so wenig veränderte Bau im Hinblick auf die Paragraphen 153 bis 155 keiner Erläuterung bedarf.

Handelt es sich um die Messung eines Horizontalwinkels und ist der Theodolith centrisch über den Scheitel und hierauf horizontal gestellt worden, so wird man mit der ersten Lage des Fernrohrs nacheinander die

Fig. 106.

Signale im linken und rechten Winkelschenkel anvisiren und aus den Ablesungen  $a'$ ,  $a''$  den Winkel  $w'$  erhalten, welcher um den Einfluss der Excentricität der Visirlinie (Gl. 93) von dem zu messenden Winkel  $w$  abweicht.

Schlägt man nun das Fernrohr durch und stellt es in dieser zweiten Lage wieder zuerst auf das linke, dann auf das rechte Signal ein, so werden die beiden Ablesungen  $a_1, a_2$  einen Winkel  $w''$  liefern, welcher von dem wahren Winkel  $w$  wiederum um den Betrag des Einflusses der Excentricität der Visirlinie abweicht. Diese Abweichung ist der vorigen an Grösse gleich, der Richtung nach aber entgegengesetzt. Es wird folglich die Summe der beiden beobachteten Horizontalwinkel  $w' + w'' = 2w$  und daher

$$w = \frac{1}{2} (w' + w'')$$

wie bereits in §. 137 nachgewiesen ist. Wollte man den Winkel  $w$  nur einseitig messen, so würde man einen Fehler begehen, der durch die Gleichung (94)

$$w - w' = 206265'' \cdot e \left( \frac{1}{l'} - \frac{1}{l} \right)$$

ausgedrückt ist, in welcher  $l, l'$  die Länge der Winkelschenkel und  $e$  den Abstand der Fernrohraxe von der Alhidadenaxe (die Excentricität der Visirlinie) vorstellt.

Es kann scheinen, als ob ein Theodolith mit excentrischem Fernrohre bei der Horizontalwinkelmessung mehr Arbeit veranlasst als einer mit centrischem Fernrohre; dieses ist aber deswegen nicht der Fall, weil man auch mit letzterem einen Winkel mit den beiden Lagen des Fernrohrs misst, um den Einfluss einer allenfallsigen Excentricität der Visirlinie auf das Messungsergebnis zu beseitigen.

§. 157. Grubentheodolith von Breithaupt. Der Hängecompass, welcher auf Seite 224 abgebildet und beschrieben ist, gewährt wie die Feldbussole nur eine geringe Genauigkeit der damit aufgenommenen Winkel. Man sollte ihn daher nur da anwenden, wo entweder ein mit Stativ versehenes Winkelmessinstrument nicht wohl aufzustellen ist, oder wo es sich nur um geringfügige Markscheidungen handelt. Dagegen sind für grössere Arbeiten und wo es die Oertlichkeit nur irgend erlaubt, die Grubentheodolithen geeignet, welche in neuerer Zeit von verschiedenen Mechanikern, namentlich von F. W. Breithaupt in Cassel, angefertigt werden. Ein solcher Theodolith unterscheidet sich von einem anderen nur dadurch, dass er in der Regel mit einer Bussole verbunden und in diesem Falle keiner seiner Bestandtheile aus Eisen oder Stahl ist. Man hat die Grubentheodolithen auch schon zum Repetiren der Winkel eingerichtet; es reicht aber ein guter einfacher Theodolith für alle Fälle, auch für die umfangreichsten bergmännischen Messungen, aus. Wir werden daher auch nur einen der letzteren Art näher betrachten. Fig. 197 stellt die Ansicht eines einfachen Grubentheodolithen von Breithaupt mit abgenommener Bussole und Fig. 198, S. 267 den oberen Theil desselben mit aufgesetzter Bussole vor. Um das ganze Instrument sich richtig vorzustellen, braucht man nur die zweite Figur mit der Linie A B auf die erste gesetzt zu denken. Wir haben die Fig. 197 bereits in §. 148 bei der Beschreibung des einfachen Theodolithen benützt, sie ist aber nach dem für unseren Gebrauch bestimmten Gruben-





te zum Winkelmessen.

sobald er die richtige Stellung hat, d. h. der Durchmesser  $0^{\circ} - 180^{\circ}$  mit der

Stellung des Grubentheodolithen geschieht und was seinen Gebrauch betrifft, so setzt man das oben genannte Instrument und der Bussole auf die §§ 134 und 149 verweisen, fügen noch folgende Bemerkungen bei.

Horizontal- und Verticalwinkel in den finsternen Orten für die Visirrichtungen als jene sind, welche über der Erdoberfläche gebraucht werden. Es dienen dazu Lichter oder Lampen, welche man an den zu bezeichnenden Punkten lothrecht aufstellt. Manche Markscheider benützen zu dieser Aufstellung Stative, welche genau so wie die der Theodolithen gearbeitet sind und auf denen die bereits in §. 96 beschriebenen, hier wiederholt abgebildeten Signale (Fig. 199) ruhen. Hat das Signal an einer Stelle seine Dienste gethan und ist von seinem Standpunkte aus ein zweiter Winkel zu messen, welcher mit dem ersten einen Schenkel gemein hat, wie es bei Vielecken der Fall ist, so lässt man die Stative stehen und verwechselt bloss den Theodolithen mit dem Grubensignal, worauf die Messung des zweiten Winkels beginnen kann. In gleicher Weise verfährt man mit den übrigen Winkeln eines ganzen Markscheidezugs.

2) Einfacher als das Stativ und der Dreifuss ist die Einrichtung des Untersatzes, welche (nach Fig. 201) bloss aus einem Metaldorn besteht, der mit einer Baumschraube in einem Balken oder Markscheidebock befestigt wird; und statt dessen auch eine nach Fig. 200 aus roth und Papier angefertigte Zielscheibe benützen, welche nicht brennt, und welche auf dem Zapfen ruhen kann.

Man beachte selbst, dass man die mit dem Theodolithen anderen Winkelmessungen benützt als



zu jenen, durch welche man das Streichen einer Linie oder deren Neigungswinkel gegen die Magnetlinie erfährt. Um diese Streichwinkel mit der grössten möglichen Genauigkeit zu erhalten, misst man dieselben zweimal

Fig. 200.

Fig. 201.

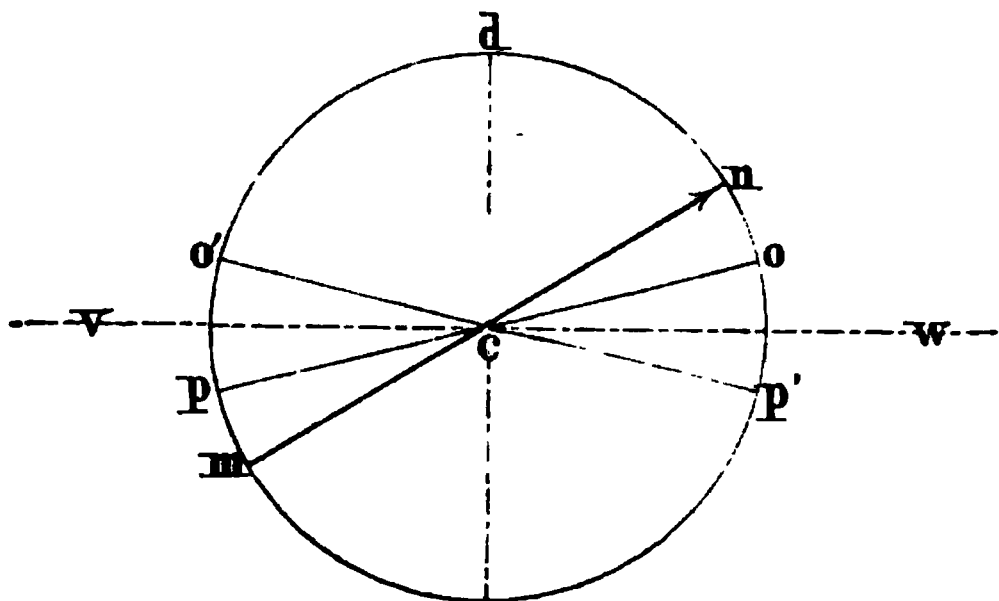
in der ersten und eben so oft in der zweiten Lage des Fernrohrs, indem man bei jeder Lage des Rohrs nach der ersten Ablesung am Nordende der Magnetnadel die Busssole abhebt und umsetzt. Man wird sich mit Hilfe der §§. 134 und 149 leicht selbst klar machen können, dass das Umsetzen der Busssole den fehlererzeugenden Einfluss einer excentrischen Nadel und das Durchschlagen des Fernrohrs die Einwirkung jenes Fehlers auf die Winkelmessung beseitigt, welche bei einseitiger Beobachtung aus der schiefen Stellung der zwölften Stundenlinie oder des Durchmessers  $0^0 - 180^0$  gegen die Visirlinie des Fernrohrs hervorginge. Ueberdiess wird durch diese Art der Messung die Wirkung aller übrigen Unvollkommenheiten des Instruments oder der Beobachtung vermindert,

§. 159. Die Prüfung und Berichtigung des Grubentheodolithen wird selbstverständlich auf freiem Felde vorgenommen und geschieht am Horizontal- und Verticalkreise ganz nach der in §. 150 gegebenen Anleitung, während die Busssole für sich nach §. 135 und ihre Verbindung mit dem Theodolithen auf folgende Weise untersucht wird. Es kann sich nämlich, wenn der Compass richtig ist, nur noch darum handeln, zu erfahren, ob die zwölfte Stundenlinie mit der Visirlinie des Fernrohrs in einer Ebene liegt, und wenn es nicht der Fall ist, beide in eine Ebene zu bringen.

Angenommen, es sei  $o p$  in Fig. 202 die zwölfte Stundenlinie,  $vw$  die

Visirlinie des Fernrohrs,  $m n$  die Magnetnadel der Bussole und  $d e$  die Drehaxe des Fernrohrs, welche zur Visirlinie senkrecht steht: so wird der Streichwinkel der Linie  $v w$  in der ersten Lage des Fernrohrs durch den

Fig. 202.



Bogen  $o n$  gemessen, während es durch den Bogen  $w n$  geschehen sollte. Schlägt man hierauf das Fernrohr durch und setzt die hierbei abgehobene Bussole in ihrer ursprünglichen Lage wieder auf, so wird, wenn das Fernrohr wieder in die Richtung  $v w$  eingestellt ist, der Punkt  $d$  in  $e$ ,  $e$  in  $d$ ,  $o$  in  $o'$ ,  $p$  in  $p'$ , die Nadel aber

nach  $m n$  stehen. Folglich liest man jetzt am Nordende der Nadel den Bogen  $o' p' n = 180^\circ + p' n$  als den Streichwinkel der Linie  $v w$  ab. Der Bogen  $p' n$  ist aber, wie man an der Figur sieht, gerade um so viel grösser als der richtige Bogen  $w n$ , als der vorhin abgelesene Bogen  $o n$  kleiner ist: darum gibt das arithmetische Mittel aus den Bögen  $o n$  und  $p' n$  den gesuchten Streichwinkel  $n c w$ . Man muss deshalb zur Berichtigung der Bussole nach Oeffnung der Schraube  $\sigma$  den Compass in seiner Schale  $\rho$  so weit vor- oder rückwärts drehen, bis die Nadel den eben gefundenen Streichwinkel genau anzeigt, und alsdann die Schraube wieder schliessen.

§. 160. Grubentheodolith von Junge. Unter dem Namen „Markscheidergoniometer“ hat Prof. Junge in Freiberg in neuerer Zeit einen Grubentheodolithen (ohne Verticalkreis) construiert, der den Hängecompass in dem Falle ersetzen soll, wenn die Magnetnadel wegen vorhandener Eisenmassen oder eisenhaltiger Gesteine ihre Dienste versagt. Die Abbildung und Beschreibung dieses Instruments enthält der Jahrgang 1861 der „Berg- und hüttenmännischen Zeitung“, welcher wir das Folgende im Auszuge entnehmen.

Der neue Winkelmesser (Fig. 203) besteht zunächst aus einer Vorrichtung zum Visiren, welche von 2 Dioptern ( $i, k$ ) und einem Fernrohre gebildet wird. Diese Vorrichtung ist durch ein gewöhnliches Scharnier mit den Trägern  $l, m$  verbunden und zum Durchschlagen eingerichtet. Die Diopter, welche an und für sich vor- und rückwärts zu visiren gestatten, werden nur für nahe gelegene Objecte (Signale) benützt. Die Träger  $l, m$  ruhen auf der Alhidade des Horizontalkreises  $n$ , welcher mit Hilfe der beiden diametral gestellten Nonien die Winkel bis auf 1 Minute abzulesen gestattet. Grobe und feine Drehung des Alhidadenkreises werden durch die Klemme und Mikrometerschraube bei  $a$  bewirkt. Die gleichnamige Vorrichtung  $a'$  wirkt auf den Horizontalkreis selbst und dient zur Messung der Winkel durch Repetition. (Wir halten diese Einrichtung an einem Instrumente von geringer Genauigkeit, wie das vorliegende doch nur sein kann



nente zum Winkelmessen.

Winkelmessung mit dem Goniometer ist grösser  
es können bei dem ersten Instrumente grobe

sich eben so leicht und bequem handhaben  
als der Compass; seine Aufstellung ist aber  
sicherer, weil er durch Schrauben auf festen  
Gegenständen gehalten wird.

6) Das Markscheiden mit dem Goniometer erfordert weniger Zeit als das mit einem auf einem Gestelle befindlichen Theodolithen.

7) Das Centriren des Theodolithen ist, wenn nicht besondere Teller als Untersetzer gebraucht werden, sehr mühsam und ungenau.

8) Mit dem Theodolithen kann man nur auf weiten und bequemen Strecken, mit dem Goniometer aber auf allen überhaupt zugänglichen Orten markscheiden.

9) Das Markscheiden mit dem Theodolithen in Schächten ist mit den bis jetzt in Vorschlag gekommenen Hilfsapparaten kaum oder doch nur sehr beschränkt möglich.

10) Die Aufstellung des Theodolithen  
der Markscheider stets der Gefahr ausgesetzt,

Spiegelinstrumente.

Es ist oft nicht möglich ist, ein Winkel  
zu messen, so lässt sich auch in mehreren Fällen  
der Standpunkt für die Aufstellung eines Theodolithen  
gewinnen. Dergleichen Fälle treten z. B. ein,  
wenn der Höhenwinkel eines Sterns, oder von dem  
Theodolithen zu einem entfernten Signal aus der Winkel zweier Richtungen  
Unter solchen Verhältnissen kommt es darauf  
an, eine Einrichtung zu geben, welche die Bestimmung  
des Winkels möglich macht, wobei die Handlung  
leicht und wozu ein einziger ruhiger Augenblick  
ausreicht. Diese Einrichtung gewähren zwei  
Instrumente, die auf einer Ebene senkrecht stehen und sich  
bewegen. Zwei bereits betrachtete Instrumente  
sind die zur Messung von rechten Winkeln und geraden

### Der Spiegelsextant.

Linien dienen, der Winkelspiegel und das Prismenkreuz, möge häufige Vorstellung von dem Wesen der Spiegelwerkzeuge geben. Führung derselben in die Messkunst beginnt mit der Erfindung der Sextanten, den wir daher zunächst betrachten müssen.

### Der Spiegelsextant.

§. 163. **Geschichtliches.** Als den Erfinder des nach seiner bestandtheilen genannten Spiegelsextanten sieht man gewöhnlich den damaligen Vicepräsidenten der Royal Society in London, John Hadley, weil er der erste war, welcher einen Spiegelsextanten anfertigte, eine Theorie und Beschreibung desselben veröffentlichte. Während dieses im Jahre 1731 geschah, fand man einige Jahre später nachgelassenen Papieren des inzwischen gestorbenen Hadley eine von Newton aus früherer Zeit, welche die Zeichnung und Beschreibung eines von dem Hadley'schen Sextanten nur wenig verschiedenen Instrumentes enthielt. Es ist also Newton als der eigentliche Erfinder des Sextanten und des danach gebildeten Spiegelsextanten zu betrachten, Hadley als derjenige, welcher den Sextanten zuerst ausgeführt hat. Damals noch immer die Annahme, welche Einige machen, verei dem geschickten Optiker Hadley zu der Zeit, als er seinen Sextanten legte, die Handschrift Newtons unbekannt war.

Wesentlich verbessert wurden die Sextanten durch den englischen Künstler Ramsden, welcher nicht bloss der Bewältigung der Alhidade und des drehbaren Spiegels einen gleichmässigen Gang verlieh, sondern, was die Hauptsache ist, den Limbus durch seine neue Theilmaschine viel feiner und genauer theilte, als möglich war. Der Spiegelsextant, anfangs ausschliesslich zur auf dem Meere verwendet, wurde erst durch die Bemühungen des Mathematikers Brander in Augsburg und der Astronomen v. Zach zur Messungen von Winkeln auf dem Lande tauglich gemacht. Es sich dabei hauptsächlich darum, den Horizont, dessen man bei Höhenwinkeln bedarf und der dem Seefahrer durch den Meergeboten ist, in geeigneter Weise zu ersetzen. Dieses geschah durch die Führung von besonderen Horizonten, wovon im §. 166 die Rede ist.

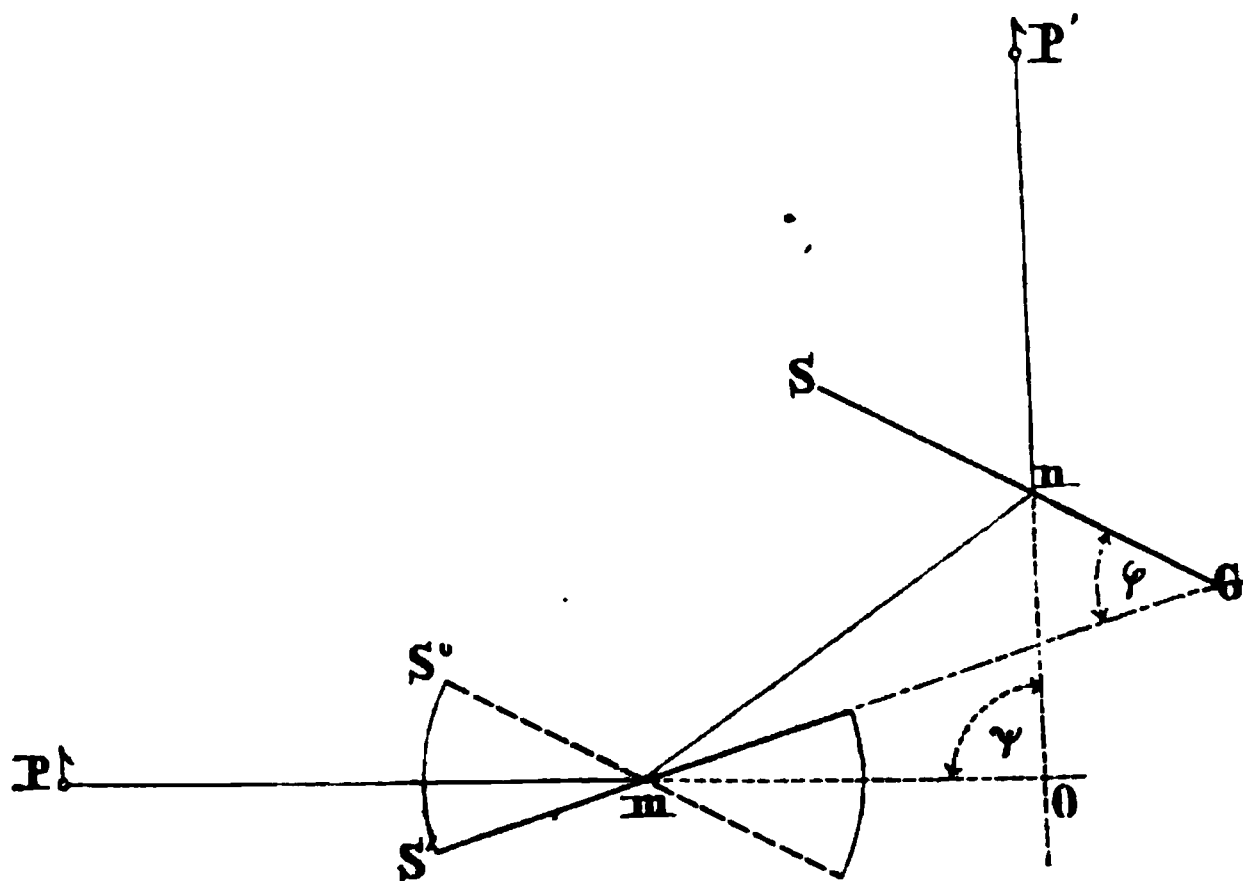
Ausführliche theoretische Untersuchungen des Spiegelsextanten von Bohnenberger (Anleitung zur geographischen Ortsbestimmung), Encke (Berliner astron. Jahrbücher), von Grunert (Beiträge zur Mathematik) und aus neuester Zeit von Prof. A. Schell in Riga (Zeitschrift für Mathematik und Physik, Bd. XVII) vorhanden.

§. 164. **Theorie.** Der Satz, worauf sich die Einrichtung des Spiegelsextanten gründet, ist bereits bei Betrachtung des Winkelspiegels aufgeführt und bewiesen worden, dass nämlich, wenn zwei Ebenen ( $SG$ ,  $S'G$ ) auf einer Ebene senkrecht stehen und mit einander einen

( $\varphi$ ) bilden, dieser Winkel halb so gross ist als derjenige ( $\psi$ ), welchen die auf einen Spiegel ( $S'G$ ) zu jener Ebene parallel einfallenden Lichtstrahlen ( $Pm$ ) mit den von dem zweiten Spiegel ( $SG$ ) zurückgeworfenen Strahlen ( $P'n$ ) einschliessen.

Man braucht also nur den Winkel  $\varphi$  zu kennen, um den Winkel  $\psi$  zu erfahren, den die Gegenstände  $P$  und  $P'$  mit dem Scheitel  $O$  bilden.

Fig. 205.



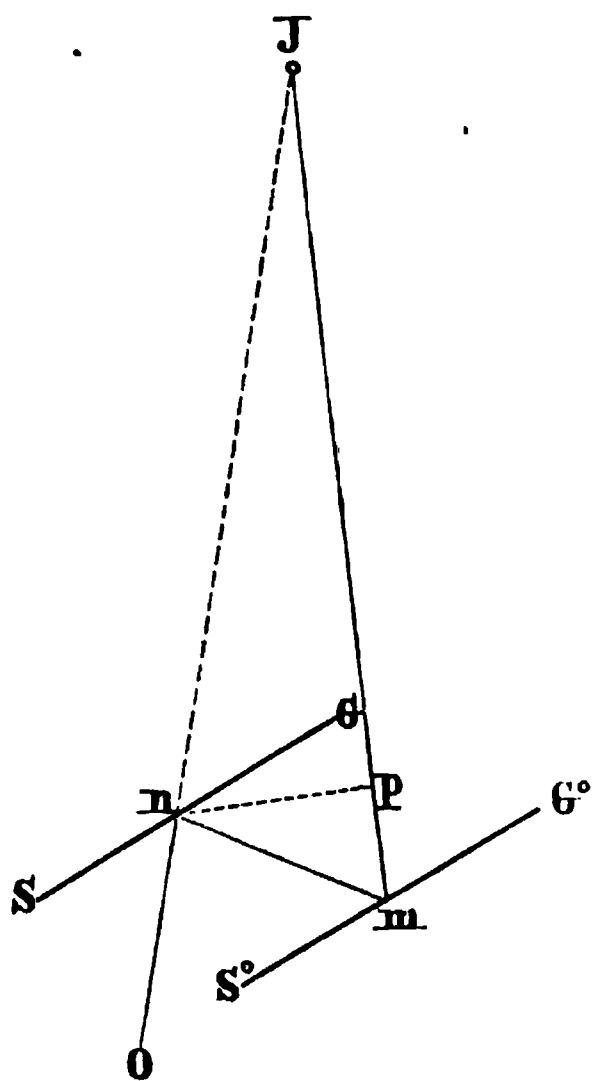
Ist demnach der Winkel  $POP'$  auf dem Felde gegeben und lässt man auf den Spiegel  $S'G$  von dem Signal in  $P$  Licht fallen, so geht dieses von  $m$  nach  $n$  und von da in der Richtung  $nO$  zurück. In dieser Richtung liegt das Bild von  $P$ , und man sieht es in  $O$ . Durch Drehung des Spiegels  $S'$  kann man es dahin bringen, dass  $\varphi = \frac{1}{2} \psi$  wird, und wenn dieses der Fall ist, so liegt das Bild von  $P$  in dem Winkelschenkel  $OP'$ , d. h. das Bild von  $P$  deckt das in  $P'$  stehende Signal.

Denkt man sich, dass der Spiegel  $S'$  vor seiner Drehung mit dem Spiegel  $S$  genau parallel gewesen sei, so ist klar, dass der Winkel  $S^0mS'$ , um welchen er gedreht werden musste, um in die Lage  $S'$  zu kommen, bei welcher das Decken der Bilder stattfindet, dem Winkel  $\varphi$  der beiden Spiegel  $S$  und  $S'$  gleich ist. Hieraus folgt, dass der Winkel ( $\psi$ ) des einfallenden und zweimal zurückgeworfenen Strahls doppelt so gross ist als der Drehwinkel ( $\varphi$ ) des ersten Spiegels ( $S$ ), welcher am Anfange der Drehung dem zweiten Spiegel ( $S$ ) parallel war.

Dieser Folgesatz zeigt, wohin man den Nullpunkt der Theilung des Kreisbogens ( $B$ , Fig. 207) zu legen hat, nämlich in die Richtung  $mS^0$ , welche mit  $nS$  parallel ist. Es fragt sich nur, wie man mit Sicherheit die parallele Lage der beiden Spiegel erkennt. Denkt man sich die beiden Spiegel  $S$  und  $S^0$  genau parallel gestellt und auf einen von ihnen ( $S^0$ ) von

einem ausserordentlich weit entfernten Gegenstande, etwa einem Sterne, Licht fallend, so wird dieses in der Richtung  $Jm$  kommende Licht nach  $mn$  auf den Spiegel  $S$  und von dort in der Richtung  $no$  zurückgeworfen. Das in  $O$  befindliche Auge erblickt also im Spiegel das Bild von  $J$  in der Richtung  $On$ , welche wegen der grossen Entfernung des Objects  $J$  mit der des einfallenden Lichts ( $Jm$ ) parallel ist und wegen des kleinen Abstands  $mn$  eben jenes Object  $J$  schneidet: der unendlich weit entfernte Gegenstand ( $J$ ) und sein Spiegelbild decken sich also, sobald die beiden Spiegel parallel sind. Kehrt man diesen Satz um, so lautet er: Wenn ein ausserordentlich weit entfernter hellleuchtender Gegenstand ( $J$ ) von zwei auf einer Ebene senkrecht stehenden ebenen Spiegeln ( $S, S^0$ ) so abgebildet wird, dass das Bild ihn selbst deckt, so sind die beiden Spiegel zu einander parallel.

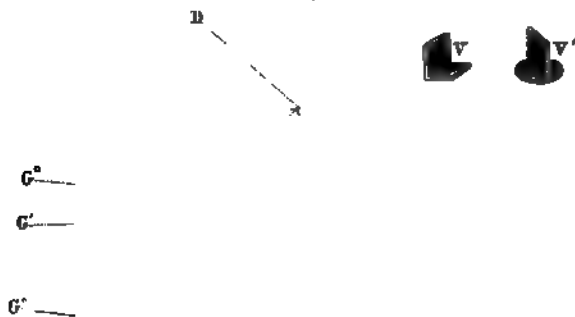
Fig. 206.



§. 165. **Einrichtung.** Die Fig. 207 stellt den Grundriss und Fig. 208, S. 277 den Aufriss eines Spiegelsextanten dar. Der Körper desselben besteht aus einem Kreisbogen ( $B$ ) von Messing, welcher etwas mehr als den sechsten Theil eines ganzen Kreises ausmacht und durch zwei Speichen und einige Querbänder mit dem Mittelstücke ( $c$ ) verbunden ist. In der Nähe des Schwerpunkts des Instruments kann ein Griff ( $P$ ) eingeschraubt werden, um den Sextanten mit der Hand so zu halten, wie es die Beobachtung fordert. In dem Messingbogen ist ein Silberstreifen eingelegt, welcher den Limbus enthält. Dieser ist nach der Grösse seines Halbmessers mehr oder weniger fein getheilt. Bei 0,12 Meter Halbmesser kann man den Grad in 6 Theile theilen. Jeder solche Theil stellt folglich nach §. 164 10 Minuten des Drehwinkels und 20 Minuten des gemessenen Winkels vor. Um nicht erst den Drehwinkel mit 2 multipliciren zu müssen, zählt man auf dem Limbus sofort halbe Grade für ganze, so dass also da, wo  $0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0$  etc. zu stehen hätte, beziehlich  $0^0, 10^0, 20^0, 30^0, 40^0$  etc. aufgeschrieben ist. Um eine zur Ebene des Limbus senkrecht stehende und durch dessen Mittelpunkt ( $C$ ) gehende Axe dreht sich die Alhidade ( $CA$ ), welche über den Körper des Sextanten hingeleitet, wenn man sie bei  $A$  anfasst und schiebt. Diese Bewegung setzt aber voraus, dass man die Bremsschraube  $S'$  der Klemme  $A$  vorher gelüftet habe. Ist diese Schraube angezogen, so kann die Alhidade nur noch fein gedreht werden, was mit der Mikrometerschraube  $S$  geschieht. Die Einrichtung dieser Schraube und des Halterwerks ist jener am Theodolithen ähnlich. In einem viereckigen Ausschnitte (40) der Alhidade befindet sich der in Silber ausgeführte Nonius, welcher

in unserer Zeichnung durch die helle Stelle gegenüber der Zahl 40 angedeutet ist. Wenn der Grad des Drehwinkels auf dem Limbus in 6 Theile getheilt ist, so kann man die Länge von 59 solchen Theilen auf dem Nonius in 60 zerlegen und so den Drehwinkel bis zu 10, den gemessenen Winkel aber bis auf 20 Secunden genau ablesen. Der Nonius sowohl wie der Limbus haben eine Uebertheilung, deren Bedeutung für den Nonius schon früher (§. 77) auseinander gesetzt wurde, und deren Zweck für den Limbus bei der Bestimmung des Collimationsfehlers von selbst sich ergibt. Zur Erleichterung des Ablesens dient eine Lupe (L), welche von einem Stiele getragen wird, der sich um eine auf der Alhidade stehende Axe so drehen

Fig. 207.



kann, wie es der zum Lesen erforderliche Stand der Lupe über dem Nonius bedingt. Die Alhidade trägt auf der Platte C, womit sie auf dem Körper des Sextanten liegt, einen vollkommen ebenen und parallelen Glasspiegel (M M'), welchen wir den grossen Spiegel nennen wollen. Seine Fassung ist mittels dreier Schraubchen auf der Alhidade angeschraubt und so eingerichtet, dass er senkrecht auf die Limbusebene gestellt werden kann. Die einfachste Vorrichtung für diesen Zweck, welche jedoch häufig, wie auch an dem abgebildeten Sextanten, fehlt, ist eine dünne Walze, welche parallel mit der Spiegelfläche zwischen der Fassung (M) und der Alhidadenplatte (C), welche beide etwas ausgehöhlt sind, liegt und um die der Spiegel durch zwei Schraubchen etwas gedreht werden kann. Der kleine Spiegel



### Der Spiegelsextant.

(NN') ist mit seiner Fassung (R) auf eine der Speichen des Sextankörpers festgeschraubt. Mit Hilfe zweier Stellschraubchen und einer dünnen Walze kann er, wie der grosse drehbare Spiegel, zur Limbusebene recht gestellt werden; und durch zwei andere Schraubchen, welche bewegbar angebracht sind, lässt er sich behufs der Berichtigung ein wenig seitwärts drehen. Ausserdem steht er immer fest. Das Fernrohr (FF'), welches an der zweiten Speiche so befestigt ist, dass es mit der Schraube Q parallel zur Ebene des Sextanten etwas gehoben und gesenkt werden kann, ist achromatisch und besitzt ein astronomisches Ocular mit einem aus Fadenpaaren bestehenden Fadenkreuz, das somit um die optische Achse ein kleines Quadrat freilässt, in welchem die Bilder zur Deckung gelangen. Die untere Hälfte des Objectivs empfängt nach Fig. 208 Licht aus dem kleinen Spiegel, während die obere die Strahlen aufnimmt, welche von direct anvisirten Gegenständen (G'') kommen. Es bedarf wohl kaum

Fig. 208.

G'

Erwähnung, dass das halbe Objectiv eben so gut wie das ganze ein klares Bild gibt; nur ist es weniger hell, weil es von einer kleineren Lichtmenge erzeugt wird. Die Einschlaggläser (K, H) dienen dazu, den Glanz des Lichts zu mildern, wenn stark leuchtende Gegenstände anvisirt werden. Sie sind verschieden gefärbt und müssen parallel sein, damit die Richtung der von dem grossen zum kleinen Spiegel oder von dem Gegenstande G'' direct in das Fernrohr gehenden Strahlen nicht verändert wird. In unseren Figuren sind alle Gläser zurückgeschlagen. Es versteht sich selbst, dass man von den drei Gläsern bei K oder von den zwei bei H nur eines oder zwei oder alle benützen kann. Ueberdies lässt sich vor das Ocular des Fernrohrs bei F ein Sonnenglas anschrauben, wenn es nöthig ist.

Der Spiegelsextant bedarf keines Gestells; gleichwohl kann er mit einem Stativ verbunden werden. Man wendet bei Messungen auf dem

Lande ein Gestell mit Vorthail dann an, wenn der Sextant sehr gross und folglich so schwer ist, dass bei längerem Beobachten der Arm, welcher ihn trägt, ermüdet. Dieses Gestell muss eine horizontale und zwei verticale Drehungen des Instruments gestatten, damit das Fernrohr sowohl nach jeder Richtung des Horizonts als auch, wenn der Körper des Sextanten von der wagrechten Lage in die lothrechte gebracht ist, in die zur Messung der Verticalwinkel erforderlichen Richtungen gebracht werden kann. Es sind also drei Axen nöthig, wovon die eine lothrecht, die andere wagrecht und die dritte senkrecht auf der Sextantenebene steht, während jede Axe mit jeder anderen einen Winkel von  $90^\circ$  bildet. Eine dieser Axen wird auf dem Rücken des Sextantenkörpers parallel mit der Fernrohraxe und eine zweite auf der Kopfplatte des Gestells festgeschraubt. Die erste Axe gestattet, die Sextantenebene in die Ebene des zu messenden Winkels zu bringen, und die zweite lothrecht stehende dient zur Horizontaldrehung des Instruments. Die dritte Axe ist mit den beiden ersten senkrecht verbunden und dient hauptsächlich zur Bewegung des Sextanten in der Verticalstellung, welche ihm die erste Axe verleiht.

§. 166. Gebrauch. Soll mit einem vollständig berichtigten Spiegel-sextanten ein Winkel ( $GCD$ ) gemessen werden, der durch drei Punkte bezeichnet ist, die in einer beliebigen Ebene liegen, so halte man das Instrument so, dass der Mittelpunkt des Kreises in den Scheitel und die Visirlinie des Fernrohrs in den linken Schenkel des zu messenden Winkels zu liegen kommt. Alsdann öffne man die Bremsschraube  $S'$  an der vorher bis auf Null zurückgestellten Alhidade und führe diese mit der linken Hand langsam so weit vorwärts, bis man im Fernrohre neben dem Bilde des direct angeschauten Gegenstands  $G$ , der in der Richtung  $FG''$  liegt, auch das Bild des doppelt gespiegelten rechtseitigen Gegenstands  $D$  erblickt. Nun ziehe man die Schraube  $S'$  an und bringe die beiden Bilder durch die Mikrometerschraube  $S$  zur vollständigen Deckung. Die hierauf erfolgende Ablesung gibt den gesuchten schiefen Winkel bis auf eine kleine Grösse  $\pi$  richtig, welche man die Schiefenparallaxe des Sextanten nennt und wie folgt finden kann.

Der zu messende Winkel ist nach Fig. 207  $GCD = G'CD = \omega'$  und der einfallende Lichtstrahl  $DC$  macht, nachdem er zwei Mal zurückgeworfen wurde, mit diesem Strahle den Winkel  $DC'F'$ , welcher, wenn  $G^0C$  zu  $F'G''$  parallel gezogen wird, gleich  $G^0CD = \omega$  ist. Der Sextant misst nur den Winkel  $DC'F'$  des einfallenden und zweimal zurückgeworfenen Lichts; daher muss die Ablesung, welche den Winkel  $\omega$  gibt, noch um den Winkel  $\pi$  vermehrt werden, damit der richtige Winkel  $\omega'$  erhalten wird. Nun ist aber, wenn man von  $C$  auf  $C'F'$  eine Senkrechte  $= a$  fällt, in dem rechtwinkligen Dreiecke, dessen Hypotenuse  $CG = l$  ist, der Winkel bei  $G = \pi$  und daher  $l \sin \pi = a$ . Wegen Geringfügigkeit des Winkels  $\pi$  kann man

$$\pi = \frac{\sin \pi}{\sin 1''} = 206265'' \frac{a}{l} \quad (100)$$

setzen. Die Schiefenparallaxe hängt also nur von der Länge des linken Winkelschenkels ab und wird null, wenn dieser Schenkel ausserordentlich lang ist.

Der eben bestimmte Winkel  $G C D$  kann in einer beliebigen, also auch in einer lothrechten Ebene liegen. Das Verfahren, ihn zu messen und zu verbessern, bleibt ganz genau dasselbe wie bisher, wenn man nur den unteren Schenkel als den linken betrachtet und daher das Fernrohr auf diesen richtet. Anders gestaltet sich aber das Verfahren zur Messung von Höhenwinkeln. Hier sind in der Regel nur zwei Punkte, welche einen einzigen Schenkel bestimmen, gegeben, während der dritte Punkt oder der zweite Schenkel erst so zu bestimmen ist, dass er mit dem gegebenen Schenkel in einer lothrechten Ebene liegt und den einfachen oder doppelten Höhenwinkel darstellt.

Dazu dienen die natürlichen und künstlichen Horizonte. Natürliche Horizonte bieten die Oberflächen von ruhig stehendem Wasser, Quecksilber oder Oel und auf dem Meere der grösste Gesichtskreis oder die Berührungsebene dar, welche vom Auge des Beobachters an den Wasserspiegel gelegt werden kann. Die ersteren natürlichen Horizonte werden indessen in anderer Weise benützt als der letztere. Während nämlich durch die Berührungsebene an den Meeresspiegel der wagrechte Schenkel des zu messenden Höhenwinkels unmittelbar gegeben ist, müssen die ruhig stehenden Oberflächen der genannten Flüssigkeiten (nach Fig. 210) den entfernten Endpunkt (B) des gegebenen Winkelschenkels (A B) wie in einem Spiegel abbilden und so einen zweiten Schenkel (A B') erzeugen, welcher mit dem gegebenen einen Winkel (B A B') einschliesst, der doppelt so gross ist als der gesuchte Höhenwinkel (B A H). Die natürlichen Horizonte aus Wasser, Quecksilber oder Oel werden, um sie gegen den Luftzug zu schützen, mit einem Glasdache bedeckt, dessen Gläser genau eben und parallel sind, um die Richtungen der Lichtstrahlen nicht zu verändern. Wasser wendet man selten an, weil bei längerem Gebrauche die Dünste desselben das Glasdach beschlagen; das Oel wird, wenn es als Horizont dienen soll, mit Kienruss vermengt; und das Quecksilber, welches in flachen eisernen Schalen steht, muss von Zeit zu Zeit mechanisch gereinigt werden.

Die künstlichen Horizonte bestehen in der Regel, wie in Fig. 209, aus einer ebenen Glasplatte g, welche auf der Rückseite geschwärzt oder mattgeschliffen ist und auf einem Dreifusse liegt, welcher gestattet, die spiegelnde Oberfläche des Glases mittels einer aufzusetzenden Röhrenlibelle wagrecht zu stellen. Da in Folge der matten oder schwarzen Rückseite des Glases die Spiegelung nur von der Vorderseite desselben ausgeht, so braucht nur diese sehr genau eben zu sein; es ist aber nicht nöthig, dass sie mit der Rückenfläche parallel läuft. Statt des gewöhnlichen weissen Spiegelglases kann man auch roth, blau oder grün gefärbtes und hinten mattgeschliffenes Glas zu künstlichen Horizonten verwenden. Die Unterlage derselben wird ähnlich wie das Legebrett durch drei



### Natürliche und künstliche Horizonte.

ist. Wird  $AB = c$ ,  $AC = b$  gesetzt, so folgt die Höhenparalelle aus der Gleichung

$$\sin \beta = \frac{b}{c} \sin \psi$$

welche das  $\triangle ABC$  liefert. Die Berechnung des Winkels  $\beta$  erfordert ausser dem Abstände  $b$ , den man leicht messen kann, die der Linie  $AB$ . Diese ist aber eine Function von  $\varphi$ , indem  $c \cos \varphi = a$  ist. Die Grösse  $a$  ist in der Regel gegeben, ausserdem findet durch Messung. Da  $\varphi$  noch unbekannt ist, so darf zur Berechnung vorläufig  $\varphi = \frac{1}{2} \psi$  und daher

$$\sin \beta = \frac{b}{a} \cos \frac{\psi}{2} \sin \psi$$

gesetzt werden. Mit dem Werthe von  $\beta$ , der sich hieraus ergibt, liess sich  $\varphi$  nach Gleichung (101) verbessern.

In den meisten Fällen ist  $\beta$  nur ein sehr kleiner Winkel, wozu den Sextanten möglichst nahe an den Horizont hält, während die Linie  $AB$  im Vergleiche zu  $AC$  sehr lang ist. In diesen Fällen geht die Gleichung (102) mit Rücksicht auf Gleichung (103) in

$$\beta = \frac{b \sin \psi}{c \sin 1''} = \frac{2 b \sin \frac{1}{2} \psi \cos^2 \frac{1}{2} \psi}{a \sin 1''}$$

über, und aus Gleichung (101) folgt dann der gesuchte Höhenwinkel

$$\varphi = \frac{1}{2} \psi + \frac{b \sin \frac{1}{2} \psi \cos^2 \frac{1}{2} \psi}{a \sin 1''}.$$

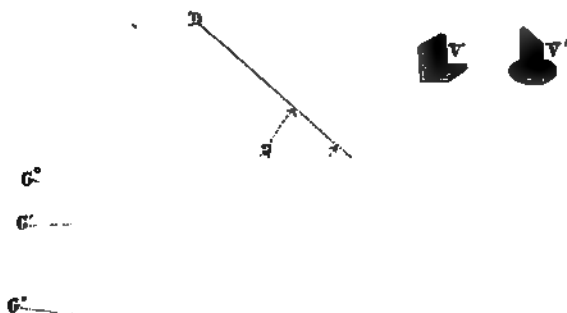
Bei dem Gebrauche des Sextanten ist namentlich dann, wenn um genaue Messungen handelt, darauf zu sehen, dass er, wie jedes Messinstrument, nicht zu lange ohne Unterbrechung der directen Einwirkung der Sonnenstrahlen ausgesetzt ist, weil dadurch nicht bloss die Theile des Limbus und Nonius, sondern auch in Folge der Ausdehnung und Contractionen die Spiegelebenen verändert werden können. Ferner soll man vor der Deckung der Bilder die Lupe so über den Nonius stellen, dass sie beim Ablesen nicht mehr zu verrücken braucht, weil sonst leicht die Alhidade selbst eine geringe Verschiebung erleiden kann. Auch ist die Ablesung in der Lage des Sextanten zu machen, welche er bei der Beobachtung hatte; denn wenn man ihn behufs des Ablesens z. B. in die lothrechte Stellung bringt, so kann es leicht kommen, dass trotz der angezogenen Bremsschraube bloss durch die Einwirkung des Gewichts die Alhidade der Nonius um 10 oder 20 Secunden verrückt und folglich der Winkel um so viel falsch wird. Endlich muss man dafür Sorge nehmen, dass die beiden sich deckenden oder berührenden Bilder nahezu gleich hell sind, was durch Hebung oder Senkung des Fernrohrs geschehen kann, die Helligkeit der Bilder mit dem Theile der Objectivfläche sich ändert, so dass die Lichtstrahlen entweder aus dem kleinen Spiegel oder von der gesehenen Gegenstände empfängt.

§. 167. **Prüfung und Berichtigung des Sextanten.** Vor dem Gebrauche des Spiegelsextanten hat man zu untersuchen:

- 1) ob der Limbus und Nonius richtig getheilt sind;
- 2) ob jedes der Spiegelgläser eben und parallel ist;
- 3) ob beide Spiegel auf der Sextantenebene senkrecht stehen;
- 4) ob die Fernrohraxe mit dieser Ebene parallel läuft;
- 5) ob ein Collimationsfehler stattfindet und wie gross er ist;
- 6) ob die Einschlaggläser eben und parallel sind.

Von diesen sechs Untersuchungen sind die beiden ersten und die letzte nur ein Mal, die übrigen aber von Zeit zu Zeit vorzunehmen.

Fig. 211.



Zu 1. Die Theilungen des Limbus und des Nonius werden in derselben Weise wie die des einfachen Theodolithen untersucht; es darf also hier auf den Schluss des §. 151 verwiesen werden.

Zu 2. Die Mittel zur Untersuchung der Ebenheit und gleichmässigen Dicke (Paralleleit) der Spiegelgläser sind in §. 31 angezeigt; man wird sie in dem gegebenen Falle leicht anzuwenden wissen.

Zu 3. Der senkrechte Stand des grossen Spiegels kann auf verschiedene Weise untersucht werden. Erstens dadurch, dass man den Griff (P) und das Fernrohr nebst seinem Träger (O) abschraubt, den Sextanten nach dem Augennasse wagrecht legt, bei E ein Diopter v aufsetzt und die Alhidade mit dem grossen Spiegel so weit zurück dreht, bis man bei v

das Bild  $v^0$  des Diopters im Spiegel erblickt, was dann der Fall ist, wenn der Spiegel senkrecht gegen den Halbmesser  $EC$  steht. Man sieht, dass hierbei die Alhidade über den Kreisbogen hinaus gedreht werden muss, was nur nach dem Abschrauben des Fernrohrträgers  $O$  geschehen kann. Nun stelle man ein zweites mit dem ersten genau abgeglichenes Diopter  $v'$  vor der Platte  $C$  auf die Speiche  $N$  des Sextanten und in die Richtung  $v v^0$ . Das Bild von  $v'$ , welches der Spiegel gibt, heisse  $v''$ . Liegt die Oberkante dieses Bilds mit der des ersten  $v^0$  in der Absehlinie  $v v'$ , welche zur Sextantenebene parallel ist, so steht der grosse Spiegel offenbar senkrecht auf dieser Ebene; fällt aber die Linie  $v^0 v''$  mit  $v v'$  nicht zusammen, so steht dieser Spiegel gegen die Sextantenebene nicht senkrecht. Diese Untersuchung kann man an einigen anderen Stellen wiederholen. Will man aber nicht so umständlich verfahren, so lässt sich der Stand des grossen Spiegels zweitens dadurch prüfen, dass man den Sextanten, ohne Etwas von ihm abzunehmen, am Griffe so hält, dass das Auge bei  $D$  in den grossen Spiegel sieht, während die Alhidade ungefähr dieselbe Stellung wie in Fig. 211 hat. Zeigt sich hierbei, dass das Spiegelbild der Sextantenebene mit dieser keinen Winkel bildet, also in einer Ebene liegt, so ist das ein Beweis für den senkrechten Stand des grossen Spiegels. Ein hohler Winkel beider Ebenen würde, wie leicht einzusehen, einen spitzen Neigungswinkel dieses Spiegels gegen die Sextantenebene andeuten; ein erhabener Winkel jener Ebenen aber einen stumpfen Neigungswinkel des Spiegels. Die Berichtigung geschieht mittels der in §. 165 erwähnten Stellschraubchen. Wenn dergleichen Schraubchen nicht angebracht sind, so hat dafür die Fassung des Spiegels von vorne herein einen sehr festen und richtigen Stand von Seite des Mechanikers erhalten. Man findet in der That sehr oft keine Stellschrauben am grossen Spiegel, und sie sind auch insofern entbehrlich, als ein Fehler in der Stellung dieses Spiegels von einigen Minuten nur einen unmerklichen Einfluss auf die Winkelmessung hat.

Nachdem der grosse Spiegel ganz oder fast ganz senkrecht zur Limbus-ebene steht, kann die Stellung des kleinen leicht untersucht werden. Diese Untersuchung stützt sich auf den Satz, dass die beiden Spiegel parallel sind, wenn das Bild eines ausserordentlich weit entfernten Gegenstands diesen selbst deckt (§. 164). Man richtet daher das Fernrohr auf einen sehr fernen Gegenstand, am besten auf einen Stern, und dreht mit der Alhidade den grossen Spiegel so lange, bis man entweder die eben erwähnte Deckung zu Stande gebracht oder sich überzeugt hat, dass sie nicht möglich ist. In letzterem Falle bedarf der kleine Spiegel einer Berichtigung durch die auf seiner Fassung angebrachten Stellschraubchen. Hat man es hierdurch so weit gebracht, dass die Deckung des Bilds und seines Gegenstands eintritt, so ist der kleine Spiegel dem grossen parallel, und da dieser zur Instrumentenebene senkrecht steht, so hat auch jener die erforderliche Stellung.

Zu 4. Ein Verfahren zur Prüfung der Lage der Fernrohraxe oder der

Absehlilie ist folgendes. Man lege den Sextanten auf einem Gestelle dem Augenmasse nach horizontal und stelle so nahe als möglich am Fernrohre zwei Diopter wie  $v$  und  $v'$  in Fig. 211 oder wie A und B in Fig. 4 so auf, dass ihre Visirlinie mit der Fernrohraxe nahezu parallel läuft. In einer Entfernung von etwa 30 Meter vor dem Fernrohre lasse man eine eingetheilte Latte lothrecht halten und merke die Striche, welche von den Absehlilien der Diopter und des Fernrohrs gedeckt werden. Haben die Diopter ihre Visirlinie in derselben Höhe wie das Fernrohr, so soll von beiden derselbe Strich gedeckt werden; ausserdem dürfen die gedeckten Striche um den Höhenunterschied der Absehlilien von einander abstehe. Weichen aber die gedeckten Striche um mehr als den genannten Unterschied ab, so ist die Absehlilie des Fernrohrs — die Richtigkeit der Diopter vorausgesetzt — der Limbusebene nicht parallel.

Ohne Diopter kann man die Lage der Fernrohraxe wie folgt prüfen. Man verfare, als ob man den Winkel zweier mehr als  $90^\circ$  auseinander liegenden Sterne messen wollte; bringe aber die Ränder der beiden Bilder nicht in der Mitte des Fernrohrs, sondern an dem oberen oder unteren Rande des Gesichtsfelds zur Berührung. Nun richte man, ohne die Alhidade zu verrücken, den entgegengesetzten Rand des Gesichtsfelds auf den links stehenden Stern und sehe zu, ob auch jetzt noch die vorige Berührung der Bilder stattfindet; wenn ja, so ist die optische Axe des Fernrohrs der Limbusebene parallel, ausserdem aber nicht. Schneiden sich die Ränder, welche sich vorher berührten, so ist die Fernrohraxe am Objectivende gegen die Sextantenebene geneigt, stehen aber die Ränder von einander ab, so ist das Ocularende der Axe tiefer als das Objectivende. Der Beweis für die Richtigkeit dieses Verfahrens ergibt sich aus den §§. 169 und 170, in denen von dem Einflusse und der Messung des Neigungswinkels der Fernrohraxe gegen die Sextantenebene die Rede ist.

Zu 5. Der Spiegelsextant hat einen Collimationsfehler, wenn bei paralleler Lage der beiden Spiegel der Nullpunkt des Nonius nicht mit dem des Kreisbogens zusammenfällt. Die Grösse dieses Fehlers ist durch den Bogen zwischen den Nullpunkten und seine Lage dadurch bestimmt, ob der Nullpunkt des Nonius in der Haupttheilung oder in der Uebertheilung des Limbus liegt; die erste Lage wollen wir die positive und die zweite die negative nennen. Man sieht leicht ein, dass, wenn der Collimationsfehler  $c$  positiv ist, jeder gemessene Winkel um diesen Fehler zu gross, und wenn  $c$  negativ ist, um eben so viel zu klein gefunden wird; und dass desshalb die Grösse  $c$  in dem ersteren Falle von der Ablesung abzuziehen, in dem letzteren aber hinzuzufügen ist. Versieht man jedoch die Grösse  $c$  mit ihrem Vorzeichen, so ist der Collimationsfehler von der Ablesung jederzeit in Abzug zu bringen.

Am besten bestimmt man den Collimationsfehler des Sextanten durch Beobachtungen der Sonne, indem man zunächst die vorher schon untersuchten farbigen Einschlaggläser vor die beiden Spiegel oder das Sonnen-



## Prüfung des Sextanten.

glas vor das Ocular des Fernrohrs bringt, die Nullpunkte net stellt, das Fernrohr nach der Sonne richtet und den rechten Rar gespiegelten Sonnenbilds von dem linken Rande des doppelt i Bilds berühren lässt, was durch Bewegung der Mikrometerschrau wird. Nach dieser Beobachtung liest man den Stand des Nonius die Ablesung  $= + a'$ . Hierauf richtet man das Fernrohr wieder Sonne und verstellt die Alhidade durch die Mikrometerschraube bis die beiden Sonnenbilder übereinander weggegangen sind, u den entgegengesetzten Rändern berühren. Dann liest man wieder des Nonius ab: diese zweite Ablesung sei  $= + a''$ . Man sieht dass sich die beiden Bilder bei einer Ablesung von  $\frac{1}{2} (a' + a'')$  hätten, also ist in diesem Falle der Collimationsfehler  $c = + \frac{1}{2} (a' + a'')$ . Wären beide  $a$  negativ gewesen, so würde  $c = - \frac{1}{2} (a' + a'')$  hätte man  $a'$  positiv,  $a''$  negativ gefunden, so wäre  $c = \frac{1}{2} (a' - a'')$  es hinge von der absoluten Grösse der beiden  $a$  ab, ob  $c$  positiv oder negativ würde. Für  $a' > a''$  wäre  $c$  positiv, ausserdem aber ne kann hieraus die Regel ableiten: dass man aus den Ablesungen den Collimationsfehler seiner Grösse und Lage nach erhält, wenn selben mit ihren Zeichen addirt und die algebraische Summe als Ablesungen, welche sich auf negative Bögen beziehen, zu kn der ersten Beobachtung liege der Nullpunkt des Nonius in der Ha des Limbus von dessen Nullpunkt um  $23'5''$  entfernt; also ist  $a' = 23'5''$ . Bei der zweiten Beobachtung aber befinde sich der Nullpunkt in der Uebertheilung und stehe von dem ersten Grade dieser T  $18'39''$  ab. Diese Zahl liest man ab; der Buchstabe  $a''$  bezei einen negativen Bogen von  $10 - 00'18'39''$  oder  $60' - 18'39''$  also ist  $a'' = - 00'41'21''$ . Daher wird in dem vorliegenden Fa  $c = \frac{1}{2} (a' + a'') = - 00'9'8''$ .

Wollte man aus den Ablesungen  $a'$  und  $a''$  den scheinbaren Sc messer ableiten, so hätte man nur den halben Unterschied dieser zu suchen; dieser ist aber gleich

$$d = \frac{1}{2} (a' - a'') = + 00'32'13''.$$

Die Richtigkeit dieser Behauptung versteht sich fast von selbst.

Den Collimationsfehler des Sextanten kann man in der wegschaffen und muss ihn deshalb, wie oben gezeigt, in Rechnu Wenn jedoch an dem kleinen Spiegel (bei N<sup>1</sup>) zwei mit der Sex parallel liegende Stellschraubchen angebracht sind, wodurch die tragende Platte R ein wenig gedreht werden kann, so lässt sic der Collimationsfehler beseitigen; denn man braucht nur die der Theilungen genau auf einander zu stellen und den kleinen lange zu verrücken, bis die vorhin beschriebenen Sonnenbet zwei gleiche, aber entgegengesetzte Ablesungen ( $+ a'$  und  $- a'$ )

Zu 6. Da die Einschlaggläser die Richtung der sie durc

Lichtstrahlen nicht verändern dürfen, so müssen sie eben und parallel sein. Könnten diese Gläser nicht bloß mit ihrer Fassung um eine zur Sextantenebene parallele, sondern auch um eine auf dieser Ebene senkrecht stehende Axe um  $180^\circ$  gedreht werden, so liessen sie sich insofern leicht und genau untersuchen, als man nur den Collimationsfehler für die beiden entgegengesetzten Lagen jedes Glases zu bestimmen und zuzusehen hätte, ob dieser Fehler gegen den der Spiegel das eine Mal um eben so viel zu gross als das andere Mal zu klein ist. Diese gleichen Abweichungen von dem Collimationsfehler der Spiegel zeigten dann den Einfluss der prismatischen Gestalt jedes einzelnen Glases an. Weil aber die zweite Drehung der Einschlaggläser meistens nicht möglich ist, so muss man dieselben wie folgt mit Hilfe von Beobachtungen des Monds untersuchen.

Wenn der Collimationsfehler der Spiegel aus Mondbeobachtungen bestimmt ist — die Sonne kann man ohne die Gläser nicht dazu wählen — so bringe man zuerst ein grünes Glas von K zwischen die beiden Spiegel und bestimme den Collimationsfehler aufs Neue; ebenso verfähre man mit dem blauen Glase bei K. Hierauf untersuche man auch das grüne Glas bei H, indem man es vor das Fernrohr schlägt und den Collimationsfehler wie vorher bestimmt. Der Unterschied zwischen jedem neuen und dem ohne Einschlaggläser gefundenen Collimationsfehler gibt den Einfluss des eben untersuchten Glases. Die dunklen braunen Gläser kann man aber mit Hilfe des Monds nicht untersuchen, weil sie zu wenig Licht durchlassen; man muss hierzu die Sonne benützen. Ist das eine Glas vor das Fernrohr und das andere zwischen die beiden Spiegel gebracht, bestimmt man so den Collimationsfehler und vergleicht ihn mit dem, welchen die Beobachtung des Monds geliefert hat, so hat man die Summe der Fehler beider braunen Gläser. Diese Summe zu kennen reicht aber hin, da bei späteren Beobachtungen der Sonne doch immer wieder beide Gläser zugleich in Anwendung kommen.

§. 168. Fehler des Sextanten. Die Berichtigung des Instruments kann eben so wenig wie irgend eine mechanische Arbeit mit mathematischer Genauigkeit geschehen: es wird also selbst bei einem berichtigten Spiegelsextanten die Fernrohraxe der Limbusebene nur annähernd parallel sein und jeder der beiden Spiegel nur sehr nahe einen rechten Winkel mit dieser Ebene bilden. Wie weit man in der Genauigkeit dieser Stellungen zu gehen hat, um brauchbare Messungsergebnisse zu erhalten, lässt sich auf theoretischem Wege bestimmen, indem man den Einfluss der Fehler des Sextanten auf die Winkelmessung berechnet. Dergleichen Rechnungen wurden zuerst von Bohnenberger, später von Encke und zuletzt von Grunert in den bereits in §. 163 angeführten Werken gemacht. Obwohl die Voraussetzungen und Betrachtungsweisen dieser drei Mathematiker verschieden sind, so liefern sie doch schliesslich gleiche Formeln zur Berechnung des Einflusses der Fehler, welche am Sextanten vorkommen. Diese Uebereinstimmung ist aber nur dadurch möglich, dass die Endresultate Näherungs-

ausdrücke sind; wären sie es t  
weil Bohnenberger und Encke  
daas die von dem Collimations  
sofort jenem Winkel ( $\angle GCD =$   
Schenkel ( $GC, CD$ ) einschlie-  
lesung dem Winkel ( $\angle G'C'D =$   
Strahls ( $DC, G'C$ ) gleichsetzt.  
trachtung jedes einzelnen Feh-  
halten, ohne seine eben erwäh-  
der Ablesung entspricht, zu m

§. 169. Neigung der Fe-  
der Sextant keinen anderen Fe-  
rohraxe, und untersuchen den  
Einfluss dieser Neigung auf  
einen zu messenden Winkel.

Es sei  $MM'$  in Fig. 212  
der grosse und  $NN'$  der kleine  
Spiegel des Sextanten. Beide  
stehen auf der Limbussebene,  
welcher die Ebene  $DCRF$   
eines einfallenden und zwei-  
mal gespiegelten Lichtstrahls  
( $DC$ ) parallel ist, senkrecht.  
Nach dem Gesetze der Zu-  
rückwerfung des Lichts ist  
der Winkel  $\angle DCL = \angle RCM'$   
und  $\angle CRO = \angle FRN'$ . Legt  
man durch die Strahlen  $DC$ ,  
 $CR$ ,  $RF$  Ebenen senkrecht  
zur Limbusfläche, so schnei-  
den diese die Spiegel nach  
den Linien  $HC$  und  $XR$ ,  
welche ebenfalls auf dem Lim-  
bus senkrecht stehen. Die Fern-  
wir nehmen aber an, es se-  
 $\angle XFR = i$ . Ein Lichtstrahl, v  
Richtung  $XF$  in das Fernrohr,  
den Weg  $FXHI$  zurücklegen,  
 $\angle EXH = i$ ,  $HK \parallel CD$  und  $KH$   
 $IH$  und  $XF$  ist derjenige, we-  
Fernrohraxe der Sextantenebene  
aber nicht, sondern den, welc  
entspricht. Folglich ist der al-  
die Parallaxe und den Collimat

gesuchte Winkel  $w'$ , und es muss daher der Fehler  $w - w' = f'$  von der Ablesung  $w$  abgezogen werden.

Man sieht leicht ein, dass die Berechnung des Winkels  $w'$  aus dem abgelesenen Winkel  $w$  und den gleichen Neigungen ( $i$ ) seiner Schenkel  $I H$  und  $X F$  gegen die Sextantenebene auf die Lösung der Aufgabe hinausläuft: einen schiefen Winkel auf den Horizont zurückzuführen. Hier ist die Sextantenebene der Horizont und die Ebenen  $D C H$  und  $F R X$  sind die Verticalebenen, welche man zu dem Ende durch die Schenkel des gegebenen Winkels legt. Die genannte Aufgabe führt bekanntlich zur Auflösung eines sphärischen Dreiecks, in welchem drei Seiten gegeben sind und ein Winkel gesucht wird. Die gegebenen Seiten sind erstens die den gleichen Neigungswinkeln der Strahlen  $I H$  und  $X F$  entsprechenden gleichen Complementary ( $90^\circ - i$ ) und zweitens der abgelesene Winkel  $w$ . Zur Lösung der vorliegenden Aufgabe dient die bekannte Grundformel der sphärischen Trigonometrie:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

in welcher  $A = w'$ ,  $a = w$  und  $b = c = 90^\circ - i$  zu setzen ist. Hiernach erhält man zunächst

$$\cos w - \sin^2 i = \cos^2 i \cos w' \quad (106)$$

und nach einigen einfachen Umformungen:

$$\sin \frac{1}{2} w = \cos i \sin \frac{1}{2} w' \quad (107)$$

woraus sich  $w'$  und folglich auch  $f' = w - w'$  berechnen lässt. Will man jedoch unmittelbar  $w - w'$  finden, so nehme man aus Gleichung (106):

$\cos w - \cos w' = 2 \sin^2 i \sin^2 \frac{1}{2} w' = 2 \sin \frac{1}{2} (w - w') \sin \frac{1}{2} (w + w')$   
und bedenke, dass, da  $w$  und  $w'$  nur wenig von einander abweichen, jedenfalls annähernd

$$\sin \frac{1}{2} (w + w') = \sin w \quad \text{und} \quad \sin^2 \frac{1}{2} w' = \sin^2 \frac{1}{2} w$$

gesetzt werden darf. Unter dieser Voraussetzung wird

$$\sin \frac{1}{2} (w - w') = \frac{1}{2} \sin^2 i \tan \frac{1}{2} w$$

und da  $i$  und  $w - w'$  als sehr kleine Winkel ihren Sinusen proportional sind:

$$f' = w - w' = i^2 \tan \frac{1}{2} w \cdot \sin 1'' \quad (108)$$

Dieser Ausdruck liefert die Verbesserung ( $f'$ ) in der Einheit, welche für  $i$  gewählt wird; er darf jedoch nicht mehr gebraucht werden, wenn  $w$  nahezu  $180^\circ$  beträgt. In diesem Falle hat man die Gleichung (107) anzuwenden, um  $w - w'$  zu finden. Ist die Neigung des Fernrohrs z. B. 15 Minuten  $= 900$  Secunden, und der abgelesene Winkel  $w = 60^\circ$ , so wird  $f' = 2,2$  Secunden und somit der gesuchte Winkel  $w' = w - f' = 59^\circ 57',8$ . Für  $i = 15$  Minuten und  $w = 140^\circ$  würde  $f' = 10,8$  Secunden werden u. s. w. Die folgende von uns berechnete Tafel gibt einen Ueberblick der Fehler  $f'$ , welche sich für verschiedene Neigungen ( $i$ ) des Fernrohrs bei verschiedenen Winkeln ( $w$ ) ergeben.

### Fehler des Sextanten.

Verbesserungen der gemessenen Winkel wegen der Nei-  
fernröhre, in Secunden ausgedrückt.

Beobachteter Winkel (w).	Neigung (i) der Fernrohraxe gegen die Sextantenebene.							
	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'
100	0,04	0,15	0,34	0,61	0,96	1,37	1,87	2,
200	0,09	0,30	0,69	1,23	1,93	2,77	3,78	4,
300	0,13	0,46	1,05	1,86	2,93	4,22	5,73	7,
400	0,17	0,65	1,42	2,52	3,98	5,71	7,78	10,
500	0,22	0,80	1,82	3,23	5,09	7,31	9,97	13,
600	0,28	0,99	2,25	4,00	6,31	9,05	12,24	16,
700	0,33	1,18	2,77	4,86	7,65	10,98	15,04	19,
800	0,40	1,43	3,27	5,82	9,17	13,15	17,93	23,
900	0,46	1,71	3,92	6,93	10,93	15,66	21,38	27,
1000	0,56	2,04	4,64	8,27	13,02	18,69	25,49	33,
1200	0,82	2,95	6,76	12,02	18,93	26,83	37,04	48,

§. 170. **Maß des Neigungswinkels (w).** Es ist klar, d die Fernrohraxe und die beiden Horizontalfäden des Fadenu Sextantenebene parallel sind, die Berührung der Bilder, welch einen Faden zu Stande gebracht wurde, bei entgegengesetzter N Sextanten, auch am zweiten Faden sich wieder zeigen muss, wei Fällen der Neigungswinkel der Visirebene, welche durch den l den optischen Mittelpunkt des Objectivs bestimmt ist, der G gleich bleibt und nur eine entgegengesetzte Lage hat. Wäre Fernrohraxe der Sextantenebene nicht parallel, sondern gegen dem Winkel i geneigt, so würde, wenn die Visirebene mit de Winkel e macht, bei der Berührung an dem einen Faden der winkel der Visirebene gegen die Sextantenebene  $k = i + e$  u zweiten Faden  $k' = i - e$  sein, wobei

$$\operatorname{tg} e = \frac{a}{f}$$

a = dem halben Abstände der Horizontalfäden von einander un Brennweite des Objectivs ist. Da aber e in jedem Falle nur Winkel ist, so kann man, wie leicht einzusehen, setzen:

$$e = \frac{1}{\sin 1''} \cdot \frac{a}{f}.$$

Nach Gleichung (108) ist die Verbesserung für den erster der Winkel  $w_1$  abgelesen worden ist,

$$f_1 = (i + e)^2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_1 \sin 1''$$

und für den zweiten Fall, wo die Ablesung  $w_2$  war,

$$f_2 = (i - e)^2 \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_2 \sin 1''.$$

### 3. Instrumente zum Winkelmessen.

Setzt man, da  $f_1 - f_2 = w_1 - w_2$  und (wegen des geringen Unterschiedes  $w_1$  und  $w_2$ )  $\operatorname{tg} \frac{1}{2} w_2 = \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_1$  gesetzt werden darf,

$$w_1 - w_2 = 4 i e \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_1 \sin 1''$$

als den gesuchten Neigungswinkel der Fernrohraxe

$$i = \frac{w_1 - w_2}{4 e \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_1 \sin 1''} = \frac{f(w_1 - w_2)}{4 a \operatorname{tg} \frac{1}{2} w_1}. \quad (109)$$

Die Brennweite des Sextantenfernrohrs 6 Zoll = 60 Linien und der Abstand der Fäden  $a = 1$  Linie, so wird  $e = 3438 \text{ Sec.} = 57'38''$ . Die verbesserte Ablesung bei der Berührung am unteren Faden und bei der Berührung am oberen Faden  $130^\circ 35'$ , so ist  $w_1 - w_2$  die Differenz und  $\frac{1}{2} w_1 = 65^\circ 18'$ ; folglich der Winkel

$$i = \frac{60}{4 \cdot \operatorname{tg} 65^\circ 18'} = 15 \operatorname{cotg} 65^\circ 18' = 6,9 \text{ Min.}$$

Abstand  $2a$  der Parallelfäden des Fadenkreuzes, welcher bei der Messung von  $i$  als bekannt vorausgesetzt wird, ergibt sich am sichersten durch folgendes Verfahren, dessen Richtigkeit leicht einzusehen ist. Man dreht die Parallelfäden durch Drehung der Ocularröhre senkrecht zur Ebene der Fäden, diesen selbst aber dem Augenniveau nach horizontal. In einem Abstand von etwa hundert Meter visirt man einen gut beleuchteten Punkt so an, dass er von dem einen Faden gedeckt wird. Dann dreht man die Alhidade so, dass das doppelt gespiegelte Bild des Punktes ebenfalls auf den ersten Faden fällt. Nachdem der Stand der Alhidade abgelesen ist, wird die Alhidade ohne die geringste Verrückung des Fernrohrs, so weit gedreht, dass das eben genannte Bild auf den zweiten Faden kommt, während das directe auf dem ersten bleibt. Liest man den Stand des Nonius wieder ab, so gibt der Unterschied der beiden Ablesungen den Neigungswinkel  $2e$  und folglich, wenn die Brennweite  $f$  des Fernrohrs bekannt ist, der Ausdruck  $a = f \cdot \operatorname{tg} e$  den gesuchten Abstand der Fäden.

1. Neigung des grossen Spiegels. Bildet der grosse Spiegel senkrecht zur Sextantenebene einen Winkel  $i$ , so kann man dem Winkel dieselbe Neigung geben, indem man beide Spiegel nach §. 167 geneigt. Berichtet man hierauf das Fernrohr, so wird seine Axe in die Ebene liegen, welche auf beiden Spiegeln senkrecht und folglich gegen die Sextantenebene unter dem Winkel  $i$  geneigt ist. Der Winkel  $w_0$ , den man bei einer bestimmten Messung abliest, gibt offenbar den doppelten Winkel ( $\frac{1}{2} w_0$ ), welchen die Normalen der Spiegelebenen mit einander einschliessen, während man seine Projection ( $\frac{1}{2} w_1$ ) sucht, um daraus den Neigungswinkel ( $i$ ) des grossen Spiegels zu erhalten. Zwischen dem Neigungswinkel ( $i$ ) des grossen Spiegels und dessen Projection auf die Sextantenebene findet somit dieselbe Beziehung statt, wie in Paragraphen zwischen den Winkeln  $i$ ,  $w$  und  $w'$ ; es ist dess-

halb auch nach Gleichung (107) in dem vorliegenden Falle, wenn man  $\frac{1}{2} w_0$  für  $w$ ,  $\frac{1}{2} w_1$  für  $w'$  und  $i$  für  $l$  setzt:

$$\sin \frac{1}{4} w_0 = \cos l \sin \frac{1}{4} w_1. \quad (110)$$

In Berücksichtigung des Umstands aber, dass  $w_0$  und  $w_1$  nur wenig verschieden sind und  $l$  immer sehr klein ist, kann man auch die Formel (108) anwenden, welche hier den Fehler im gemessenen Winkel

$$f'' = w_0 - w_1 = 2 l^2 \operatorname{tg} \frac{1}{4} w_0 \sin 1'' \quad (111)$$

gibt. Da dieser Ausdruck von dem in Nr. 108 nur darin abweicht, dass die rechte Seite mit 2 multiplicirt ist und  $\operatorname{tg} \frac{1}{4} w_0$  statt  $\operatorname{tg} \frac{1}{2} w$  steht, so könnte man wohl auch die Tafel auf Seite 289, welche die Verbesserungen der gemessenen Winkel wegen der Neigung des Fernrohrs enthält, zur Bestimmung von  $f''$  benützen; wir haben es jedoch vorgezogen, eine besondere zu rechnen und nachstehend mitzutheilen. Zu dieser Berechnung fanden wir uns um so mehr veranlasst, als beide Tabellen nur für kleinere Neigungen des Fernrohrs und des grossen Spiegels nahe genug übereinstimmen, für grössere Neigungen aber und grosse Winkel merklich von einander abweichen.

Verbesserungen der gemessenen Winkel wegen der Neigung des grossen Spiegels, in Secunden ausgedrückt.

Beobachteter Winkel (w).	Neigung (l) des grossen Spiegels gegen die Normale der Sextantenebene.							
	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'
100	0,04	0,15	0,34	0,60	0,96	1,37	1,87	2,44
200	0,08	0,30	0,68	1,22	1,92	2,75	3,75	5,00
300	0,12	0,45	1,02	1,83	2,88	4,13	5,63	7,36
400	0,17	0,60	1,37	2,44	3,86	5,54	7,40	9,86
500	0,21	0,76	1,72	3,08	4,84	6,95	9,52	12,39
600	0,25	0,92	2,09	3,72	5,86	8,40	11,46	14,88
700	0,29	1,06	2,41	4,30	6,77	9,72	13,35	17,32
800	0,34	1,24	2,84	5,05	7,96	11,42	15,57	20,34
900	0,39	1,42	3,23	5,75	8,90	12,99	17,72	23,46
1000	0,44	1,60	3,64	6,47	10,20	14,73	19,95	26,08
1200	0,55	1,98	4,50	8,02	12,64	18,13	24,72	32,30

§. 172 Neigung des kleinen Spiegels. Jetzt sei der grosse Spiegel senkrecht und die Fernrohraxe parallel zur Sextantenebene; der kleine Spiegel bilde aber mit der Normalen dieser Ebene einen kleinen Winkel  $k$ . Treffen auf den grossen Spiegel Lichtstrahlen, welche mit der Sextantenebene parallel laufen, so liegen die nach dem kleinen Spiegel zurückgeworfenen Strahlen in parallelen Ebenen, welche mit dem Lothe des kleinen Spiegels den Winkel  $k$  einschliessen. Die von dem kleinen Spiegel zurück-

geworfenen Strahlen befinden sich in Ebenen, welche durch die auf ihn fallenden Strahlen und die zugehörigen Lothe gehen. Schneidet man diese unter sich parallelen Ebenen durch andere Ebenen, welche in den Lothen liegen und auf der Sextantenebene senkrecht stehen, so sind die Projectionen der Einfalls- und Zurückwerfungswinkel zusammen  $= 2k$  und folglich ist auch der Winkel, welchen der projicirte zurückgeworfene Strahl mit der Sextantenebene bildet,  $= 2k$ . Das Fernrohr steht aber nicht senkrecht gegen den kleinen Spiegel, sondern ist gegen dessen Normale unter einem Winkel  $\beta$  (von etwa  $15^\circ$ ) geneigt. Darum müssen die zurückgeworfenen Strahlen in Ebenen liegen, welche gegen die Normale des kleinen Spiegels unter dem Winkel  $\beta$  geneigt sind. In diesen Ebenen bilden aber die reflectirten Strahlen mit der Sextantenebene einen Winkel  $k'$ , der sich aus der leicht aufzufindenden Gleichung

$$\operatorname{tg} k' = \operatorname{tg} (2k) \cos \beta \quad (112)$$

ergibt. Bedenkt man jedoch, dass  $k'$  und  $2k$  nur sehr kleine Winkel sind, so kann man näherungsweise

$$k' = 2k \cos \beta \quad (113)$$

setzen. Heisst der abgelesene und von dem Collimationsfehler und der Parallaxe bereits befreite Winkel  $v$  und der verbesserte Winkel  $v'$ , so bilden die drei Winkel  $k'$ ,  $v$ ,  $v'$  ein rechtwinkliges sphärisches Dreieck, in welchem  $k'$  und  $v$  die Katheten sind und  $v'$  die Hypotenuse vorstellt. Löst man dieses Dreieck auf, so kommt:

$$\cos v' = \cos v \cos k'. \quad (114)$$

Hieraus kann man  $v'$  und folglich auch den Fehler  $f''' = v' - v$ , welcher zu  $v$  addirt wird, leicht berechnen. Da  $\cos k'$  constant ist, so ändert sich  $\cos v'$  nur mit  $\cos v$ ; es ist folglich für einen Winkel  $v = 90^\circ$  der Fehler  $f''' = 0$ , und für  $v = 0$  wird  $f''' = k'$ . Dieses ist der grösste Werth, den  $f'''$  annehmen kann; es hat also der Fehler  $f'''$  nur eine Bedeutung bei Messung kleiner Winkel. Sind aber  $v$  und  $v'$  auch kleine Grössen, wie es  $k'$  ohnehin schon ist, so kann man das vorhin erwähnte rechtwinklige sphärische Dreieck als ein ebenes betrachten und daher

$$v' = \sqrt{v^2 + k'^2} = v + \frac{k'^2}{2v} \quad (115)$$

und weiter noch

$$f''' = v' - v = \frac{2k^2 \cos^2 \beta}{v} \quad (116)$$

setzen. Hier ist  $k$  in derselben Einheit wie  $v$  auszudrücken; dann erhält man auch den Fehler  $f'''$  in dieser Einheit. So wird z. B. für  $k = 5$  Minuten,  $\beta = 15^\circ$  und  $v = 2^\circ 40' = 160$  Minuten der Fehler  $f''' = 0,292$  Minuten  $= 17,5$  Secunden.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Ueberblick des Wachsens der Fehler mit der Zunahme von  $k$  und der Abnahme von  $v$ . Der Winkel  $\beta$  ist dabei  $= 15^\circ$  angenommen.



### Der Spiegelkreis.

Verbesserungen der gemessenen Winkel wegen der Neigung des kleinen Spiegels, in Secunden ausgedrückt.

Beobachteter Winkel (w).	Neigung (k) des kleinen Spiegels gegen die Normale der Sextantenebene.							
	1'	2'	3'	4'	5'	10'	15'	2'
1/2°	3,72	14,93	33,60	59,61	93,90	373,2	839,7	149
10	1,86	7,46	16,79	29,86	46,62	186,6	419,9	74
20	0,93	3,73	8,39	14,90	23,31	93,3	209,9	37
30	0,62	2,48	5,58	9,94	15,54	62,2	139,9	24
40	0,46	1,86	4,19	7,46	11,65	46,7	104,4	18
50	0,39	1,48	3,35	5,97	9,32	37,3	83,9	14
60	0,31	1,24	2,79	4,97	7,77	31,1	69,9	12
70	0,26	1,06	2,39	4,26	6,66	26,6	59,8	10
80	0,23	0,93	2,09	3,73	5,82	23,3	52,2	9
90	0,20	0,83	1,86	3,31	5,18	20,8	46,6	8
100	0,19	0,74	1,67	2,98	4,66	18,7	42,0	7

### Der Spiegelkreis.

§. 173. Alle Spiegelsextanten leiden an mehreren Uebeln, die nicht befreit werden können. Hierher gehört zunächst die Geradheit der Bilder, welche mit der Grösse der Winkel wächst und der optischen Natur der Glasspiegel ist; ferner die Beschränkung der zu messenden Winkel, indem dieselben kaum mehr betragen dürfen; und endlich die Unmöglichkeit, den Einfluss der Abwärtigkeit der Alhidade auf die Winkelmessung zu beseitigen. Die Beseitigung dieser Uebelstände hat zur Erfindung der Spiegelkreise Veranlassung gegeben. Der Erste, welcher solche Kreise vorschlug, war derselbe Tobias Mayer in Göttingen, von dem auch die Repetition ausging. Seine im Jahre 1770 gemachten Vorschläge wurden von Borda ausgeführt und in mehreren Stücken verbessert, wesshalb die früheren Spiegelkreise unter dem verbundenen Namen beider bekannt sind. Diese Instrumente hatten zwar nur einen Nonius, waren aber Repetiren eingerichtet, wodurch der Einfluss der Excentricitätsfehler beseitigt werden sollte. Vor etwa 40 Jahren hat St. Martin den Spiegelkreis in einen mit grossen Vorzügen versehenen Prismenkreis<sup>1</sup> verwandelt, und seit 20 Jahren werden von ihm in Berlin Reflexionskreise angefertigt, welche sich eines grossen Beifalls erfreuen.

<sup>1</sup> In den astronomischen Nachrichten von Schumacher, Bd. XI, hat Bessel die Theorie des zwar nur in der Astronomie angewendeten, aber auch zu geodätischen geeigneten Prismenkreises mitgetheilt.

e  
s  
h  
r  
r  
a  
s  
a

o  
o  
o  
o  
o  
o  
o  
o

bloss einen Viertelkreis zwischen den mit  $0^0$  und  $180^0$  bezeichneten Punkten. Das Prisma (P), das Fernrohr (F) und die Einschlaggläser (E) verhindern eine weitere Drehung. Da aber ein Drehwinkel von  $90^0$  einem Winkel der Lichtstrahlen von  $180^0$  entspricht, so ist diese Drehung bei Weitem ausreichend. Durch die Bremschraube *n* wird die grobe Drehung der Alhidade gehemmt und durch die Mikrometerschraube *m*, welcher der Stift und die Spirale *r* entgegenwirken, die feine Drehung bewerkstelligt. Der Limbus, auf einem eingelegten silbernen Ringe, ist in 2160 gleiche Theile, also unmittelbar in Sechstelsgrade getheilt. Jeder solcher Theil entspricht 20 Minuten des zu messenden Winkels. Die Bezifferung geht von zwei Nullpunkten (0,0) aus, welche an den Enden des mit der Fernrohraxe parallelen Durch-

Fig. 214.

messers (*c d*) liegen; es sind dabei wie bei dem Spiegelsextanten halbe Grade für ganze gezählt und desswegen die Enden des auf 00 senkrechten Durchmessers mit  $180^0$  bezeichnet. Die beiden Nonien (*N'*, *N''*) liegen an dem äußeren Rande des Limbus; in Fig. 213 sind nur ihre Nullpunkte (0,0) angedeutet, welche von einander um  $180^0$  abstecken. Sie sind so getheilt, dass sie 10 Sekunden vom Drehwinkel und folglich 20 Sekunden vom gemessenen Winkel angeben; es umfassen nämlich 60 Noniustheile und 59 Limbustheile gleiche Längen. Ueber die Nonien, welche Uebertheilungen besitzen, kann man beim Ablesen die Lupe *L* mit der Blende *d* stellen, indem man den Stiel *d c* um die Axe *c* dreht. Auf der Alhidade ist in der Richtung *a b*, welche mit dem Durchmesser (00) der Nonien einen Winkel von  $20^0$  bildet, ein Planspiegel (*S*) so befestigt, dass

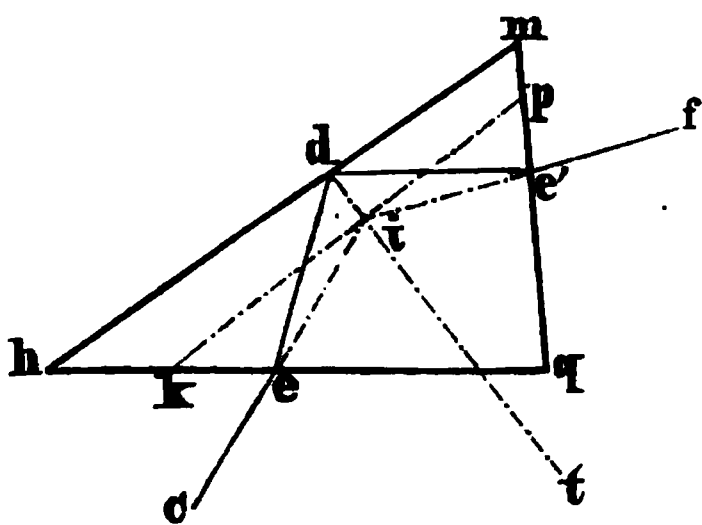
mittels der Stellschraubchen  $i$  und  $k$ , welche sich auf der Rückseite der Fassung befinden, seine Stellung zur Kreisebene, welche genau senkrecht sein soll, berichtigt werden kann. Dieser Spiegel macht alle Bewegungen der Alhidade mit und seine Drehung wird durch die Nonien von den Nullpunkten des Limbus aus gemessen. Wenn die Nonien auf diesen Nullpunkten stehen, so ist an einem fehlerfreien Instrumente die Spiegelebene ( $a b$ ) der Hypotenusenebene des feststehenden Prisma's ( $P$ ), welches hier den kleinen Spiegel des Sextanten vertritt, parallel. Dieses Glasprisma hat ein gleichschenkliges rechtwinkliges Dreieck zum Querschnitt, und seine Axe steht senkrecht auf der Limbusebene. Es ist so in Messing gefasst, dass durch die Schraubchen bei  $v$  und  $s$  seine Stellung berichtigt werden kann. Die Hypotenusenebene ist geblendet, um fremdes Licht von dem Fernrohre abzuhalten und die Zurückstrahlung des vom Spiegel kommenden Lichts vollständiger zu machen. Dem Prisma gegenüber steht das Fernrohr ( $F$ ), welches hier des Raums wegen ein wenig verkürzt gezeichnet ist. Seine Einrichtung ist dieselbe wie beim Sextanten, und es lässt sich hier wie dort (mit der Schraube  $M$ ) auf- und abschieben. In der Regel empfängt die eine Hälfte des Objectivs ihr Licht aus dem Prisma und die andere von dem direct gesehenen Gegenstande; ist aber dieser im Vergleiche zu dem doppelt gespiegelten sehr hell, so kann man dem Fernrohre eine grössere Lichtmenge aus dem Prisma zuführen, wenn man die Schraube  $M$  vorwärts dreht, und umgekehrt kann man sie auch verkleinern; es lassen sich folglich die Helligkeiten der beiden Bilder im Allgemeinen ziemlich nähern und in vielen Fällen ganz gleich machen. Die Blendgläser ( $E$ ) stehen hier, abweichend von dem Sextanten, zwischen dem Prisma und dem Fernrohre. Es sind nur zwei, ein braunes und ein grünes, angebracht, und beide lassen sich nicht allein um das Scharnier an ihrer Fassung drehen, sondern auch mit dieser so umwenden, dass das in der ersten Lage dem Fernrohre näher stehende Glas das entferntere wird und umgekehrt. (S. Fig. 220 und 221). An das Ende ( $o$ ) der Ocularröhre lassen sich nach Bedürfniss die Fassungen eines Sonnenglases oder eines gleichseitigen rechtwinkligen Prisma's anschrauben. Die Fig. 219 stellt dieses Prisma und die Ocularröhre im Durchschnitte dar; und denkt man sich den Theil  $p z a$  weggenommen, so gibt  $o p$  einen Durchschnitt des an die Ocularröhre  $F$  geschraubten Sonnenglases.

§. 175. Theorie. Wir setzen voraus, dass der ebene und parallele Glasspiegel auf der Limbusebene senkrecht steht, dass die Fernrohraxe mit dieser Ebene parallel läuft, dass die drei Prismenebenen mit der Limbusebene rechte Winkel bilden; nehmen ferner der allgemeineren Betrachtung wegen den senkrechten Querschnitt des Prisma's nicht als ein gleichschenkliges rechtwinkliges, sondern als ein schiefwinkliges Dreieck mit den Winkeln  $h$ ,  $m$ ,  $q$  an, und beweisen zunächst folgenden Satz:

1) Wenn auf ein senkrechtes dreiseitiges Prisma Lichtstrahlen so fallen, dass sie mit der Grundfläche parallel sind, so lässt sich die Wirkungsweise dieses Prisma's immer auf die eines ebenen Spiegels zurückführen. Denn

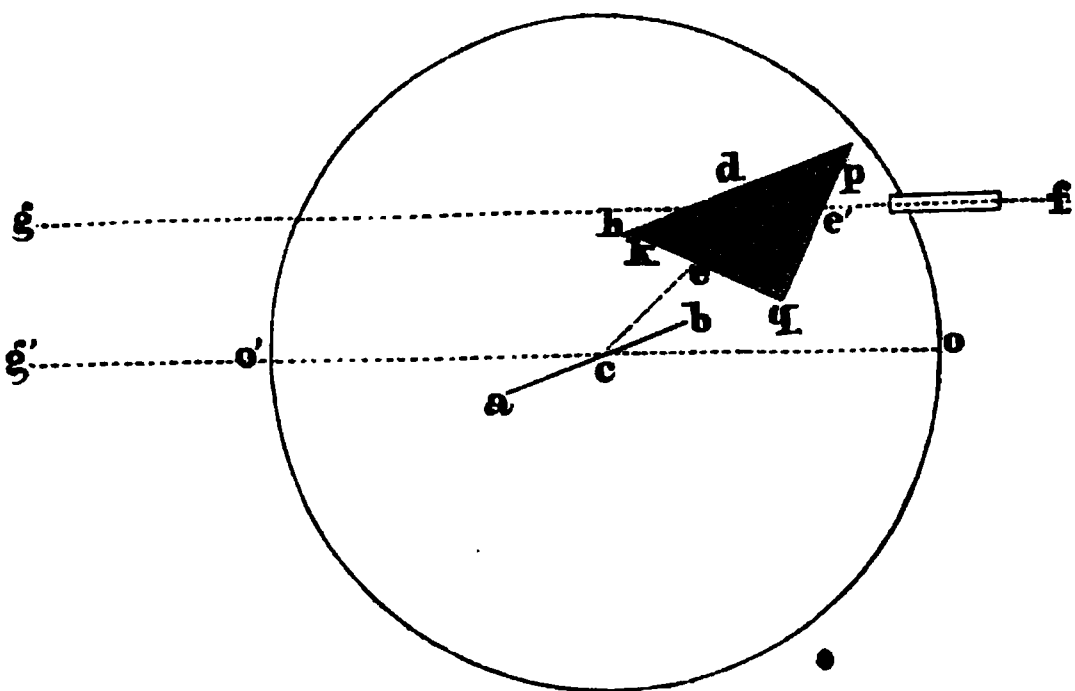
stellt in Fig. 215 das Dreieck  $h m q$  den senkrechten Prismenquerschnitt vor, in welchem der einfallende Strahl  $c e$  liegt, so ist fürs Erste aus den Grundgesetzen über die Zurückwerfung und Brechung des Lichts klar, dass die gebrochenen und zurückgeworfenen Strahlen  $e d$ ,  $d e'$ ,  $e' f$  nicht aus der Ebene dieses Querschnitts heraustreten, und dass sich folglich der einfallende Strahl ( $c e$ ) und der austretende ( $e' f$ ), gehörig verlängert, in einem Punkte ( $i$ ) jener Ebene schneiden. Denkt man sich nun den Winkel ( $c i f$ ), welchen diese Strahlen miteinander bilden, halbiert und auf die Theilungslinie ( $i t$ ) eine Senkrechte ( $k p$ ) errichtet, so stellt dieselbe den Schnitt des ebenen Spiegels vor, welcher eben so wirkt, wie das senkrechte dreiseitige Prisma. Die Linie  $k p$  ist der Seite  $h m$  des Prismenquerschnitts dann parallel, wenn dieser Querschnitt ein gleichschenkliges Dreieck ist und die gleichen Winkel an der Seite  $h m$  liegen. Da in dem Spiegelkreise das Prisma  $h m q$  festliegt, so wird es nur dann durch die spiegelnde Ebene  $k p$  vertreten werden, wenn deren Richtung ebenfalls unveränderlich ist. Dieses ist aber der Fall. Denn da wegen der festen Stellung des Fernrohrs gegen das Prisma alle aus diesem kommenden und in das Fernrohr tretenden Strahlen die Richtung  $e' f$  nehmen müssen, und da die Richtung durch die Brechungen bei  $e$ ,  $e'$  und die Reflexion bei  $d$  nur möglich ist, wenn die von dem drehbaren Spiegel kommenden Strahlen die Richtung  $c e$  haben, welche mit der Hypotenusenebene des Prisma's einen constanten Winkel einschliesst: so bleibt auch der Winkel  $c i f$  und folglich die auf seiner Halbirungslinie  $i t$  senkrechte Richtung  $k p$  unveränderlich, was zu beweisen war. Nunmehr wird das Instrument in verschiedenen Lagen der Alhidade oder des drehbaren Spiegels betrachtet werden.

Fig. 215.



Erste Lage: Fig. 216. Der Spiegel  $a b$  ist der Linie  $k p$  im Prisma parallel, und das Fernrohr  $f$  ist auf einen sehr weit entfernten Gegenstand ( $G$ ) gerichtet. In diesem Falle gelangt das Licht vom Gegenstande  $G$  in der Richtung  $g f$  direct ins Fernrohr und nach  $g c$  auf den Spiegel  $a b$ . Wegen der grossen

Fig. 216.



Entfernung von  $G$  ist  $g' c$  parallel zu  $g f$  und daher Winkel  $a c g' = k i g$ . Aus optischen Gründen ist  $b c e = a c g'$  und  $p i e' = k i c$ . Da aber ver-

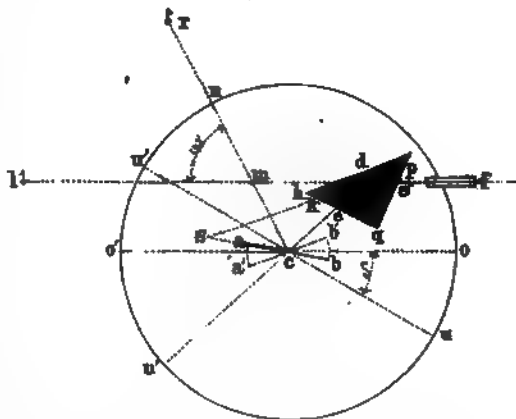
möge der Annahme  $bce = kie$  ist, so ist auch  $pie' = pif$ : d. h. der austretende Lichtstrahl  $e'f$  ist der Fernrohraxe parallel, oder mit anderen Worten: der direct gesehene sehr weit entfernte Gegenstand und sein doppelt gespiegeltes Bild decken sich, wenn die Spiegelebenen  $ab$  und  $pk$  einander parallel sind. Dieser Satz gilt selbstverständlich auch umgekehrt, und auf ihn beruht die Bestimmung der Nullpunkte  $o$  und  $o'$  der Kreistheilung. Bei einem fehlerfreien Instrumente steht also immer die Alhidade auf Null, wenn die Spiegelebenen  $ab$ ,  $kp$  parallel sind. Der Durchmesser  $oo'$  ist der Absehnlinie des Fernrohrs parallel, während der Spiegel  $ab$  einen Winkel von  $20^\circ$  mit ihm bildet. Einen gleichen Winkel  $aog'$  bilden auch die Lichtstrahlen  $g'e$ , wenn der zu messende Winkel null ist; für jeden anderen Winkel fallen, wie der weitere Verlauf unserer Betrachtungen zeigt, die Lichtstrahlen weniger schief gegen den Spiegel. Da der Lichtverlust durch Zerstreuung um so grösser ist, je kleinere Winkel die einfallenden Strahlen mit den Ebenen der Spiegel bilden, so ist folglich das doppelt gespiegelte Bild in dieser ersten Lage des Spiegels am wenigsten hell.

Zweite Lage: Fig. 217. Der Spiegel  $ab$  bildet mit der Linie  $kp$  im Prisma einen Winkel  $bap = \delta$ , wenn das doppelt gespiegelte Bild des rechts liegenden Gegenstands  $r$  und das Bild des direct gesehenen linken Gegenstands  $l$ , der mit  $r$  am Instrumente einen Winkel  $lmr = \omega$  einschliesst, sich decken. Es fragt sich, wie sich  $\delta$  zu  $\omega$  verhält.

Man weiss, dass der Durchmesser  $oo'$  der Linie  $fl$  parallel ist, und dass dieser mit dem Spiegel festverbundene Durchmesser um denselben Winkel ( $ocu = \delta$ ) gedreht wird wie der Spiegel  $ab$ , der ursprünglich mit der Linie  $pk$  parallel war.

Wenn nun  $oo' \parallel fl$ , so ist der Winkel  $\omega = o'cm = o'cu' + u'em = \delta + u'em$ . Es ist aber nach dem Gesetze der Spiegelung  $u'em + u'ea = bcb' + b'ci$ , und nach der Einrichtung des Instruments  $u'ea = b'ci$ ; folglich muss auch  $u'em = bcb' =$  dem Drehungswinkel des Spiegels  $= \delta$ , und somit  $\omega = 2\delta$  sein. Der zweimal gespiegelte und gebrochene Strahl ( $lf$ ) bildet demnach mit dem einfallenden ( $re$ ) einen Winkel ( $\omega$ ), der doppelt so gross ist als der Drehungswinkel ( $\delta$ ) des Spiegels. Dasselbe Gesetz findet beim Spiegelsextanten statt; man kann also mit dem Spiegelkreise in gleicher Weise wie mit dem Sextanten Winkel messen. Wenn jedoch der Winkel

Fig. 217.



( $\omega$ ) der beiden Gegenstände (l, r) gegenüber dem rechts liegenden Objecte (r) des vorstehenden Prismas und des Beobachters nicht mehr auf den Spalbhalb von hier an das Messungsverfahren zu geschehen hat, lehrt die folgende

Dritte Lage: Fig. 218. Das Gegenstand (r) gerichtet und der Spiegel a b wird aus seiner ursprünglichen Lage a' b' so weit verdreht, bis das auf ihn fallende Licht von dem linken Objecte (l) in dem Fernrohre ein Bild gibt, das mit dem des rechtseitigen Gegenstands zusammenfällt. Es handelt sich um das Verhältniss des Drehungswinkels ( $a' c a = c e v$  ( $r m l = \omega$ ).

Da der Durchmesser o' o dem erhabene Winkel  $o' c n = r m l = \omega$ .  
 $+ v' c n = \delta + v' c n$ , nach dem Spie-  
 der Einrichtung des Instruments  $a c$   
 $a c i = v' c b'$  und hierauf weiter  $v'$   
 $b a l = b e l + b e b' - b c l = b c b' =$   
 Lage:  $\omega =$   
 Da ferner  $\omega' = 360^\circ - \omega = 360^\circ -$   
 ist, so hat man auch

$\omega' =$

Hieraus entnimmt man, dass die  
 dade aufgefundenen Verhältnisse der  
 selben gilt, und dass dieselbe Bezie-  
 wenn man  $\delta'$  von dem zweiten. Null-  
 tung von  $\delta$  zählt.

Da es, wie bei der zweiten. Lag  
 möglich ist, Winkel zwischen  $130^\circ$  i  
 Sextanten zu messen, so muss man  
 Gleichung (118) dadurch bestimmen.  
 rohr auf den rechtseitigen Gegensta  
 stand (l) abspiegeln lässt und nach

Bogen ( $o'v$ ) abliest, welcher zwischen dem  $z$  Kreises und dem Anfangspunkte ( $v$ ) des ersten zweiten Nonius ( $v'$ ) gibt einen annähernd gleich vom ersten Nullpunkte ( $o$ ) ausgeht. Nimmt lesungen ( $o'v$ ,  $o'v'$ ) das Mittel, so ist hierdurch der Excentricität der Alhidade beseitigt.

§. 176. Gebrauch. Es wurde bereits a von  $0^\circ$  bis zu  $180^\circ$ , die in einer beliebigen Ebene wenig von einander verschiedene Verfahren messende Winkel so stumpf, dass er gar nicht oder nur wenig von  $180^\circ$  abweicht, so würde eine neue Schwierigkeit der Messung eintreten, indem

Fig. 219.



jetzt zwar nicht mehr das Prisma und das Fernrohr, wohl aber noch der Kopf des Beobachters das Licht vom linksseitigen Gegenstande hinderte, auf den Spiegel zu gelangen,<sup>1</sup> wenn nicht vor dem Ocular ( $o$ ) des Fernrohrs ein rechtwinkliges Prisma ( $pz$ ) so angeschraubt werden könnte, wie

Fig. 219 und noch besser Fig. 67, Seite 99, zeigt. Dieses Prisma reflectirt die aus dem Ocular tretenden Strahlen nach der Richtung  $za$  und macht es hierdurch möglich, dass der Beobachter seinen Kopf auf der Seite des Fernrohrs haben kann, welche den auf den Spiegel kommenden Strahlen gegenüberliegt.

Man begreift leicht, wie man mit Hilfe dieser Vorrichtung den Spiegelkreis gerade so benutzen kann, wie das Prismenkreuz, nämlich zur Einstellung in eine gerade Linie (§. 120). Es ist nur nöthig, dass man die Alhidade auf Null stellt und, indem man das Fernrohr nach dem rechtsseitigen, den Spiegel aber nach dem linken Gegenstande richtet, so lange vor- oder rückwärts geht, bis man durch das Ocularprisma die Deckung der Bilder von  $r$  und  $l$  wahrnimmt. Der Griff des Instruments steht alsdann in der gegebenen Geraden ( $rl$ ). Diese Aufgabe kann selbstverständlich mit dem Spiegelsextanten nicht gelöst werden; dagegen lassen sich mit ihm wie mit dem Spiegelkreise rechte und andere Winkel abstecken, wenn man den Nonius auf die Zahl einstellt, welche der Grösse des abzusteckenden Winkels entspricht, vom Scheitel aus das Bild des einen gegebenen Objects auf die optische Axe des Fernrohrs bringt und den Stab, der das andere Object vorstellt, so lange fort verrücken lässt, bis sein Bild das erste deckt.

Wenn im vorigen Paragraph angeführt wurde, dass die Winkel zwischen  $130^\circ$  und  $180^\circ$  durch Anvisiren des rechten Schenkels gemessen werden müssen, so folgt daraus nicht, dass man nicht auch kleinere Winkel als  $130^\circ$  auf diese Weise messen kann: es lassen sich offenbar alle jene Winkel

<sup>1</sup> Bei einem Winkel von  $180^\circ$  kommt das Licht in der Richtung  $oc$  (Fig. 218) auf den Spiegel  $a$ , während dieser mit der Linse  $k$  einen rechten Winkel bildet.



so bestimmen, deren linke Objecte noch ein Bild im Fernrohre geben, wenn dieses auf den rechtseitigen Gegenstand gerichtet ist. Dieses thun aber bei dem Pistor'schen Spiegelkreise alle Winkel zwischen  $100^{\circ}$  und  $180^{\circ}$ . Es ist somit klar, dass die Winkel zwischen  $100^{\circ}$  und  $130^{\circ}$  auf zwei Weisen gemessen werden können, indem man bei der einen Messung den linken und bei der anderen den rechten Schenkel anvisirt.

Was die Messung der Verticalwinkel betrifft, so gilt hier Alles, was darüber bei dem Spiegelsextanten angeführt wurde.

§. 177. Prüfung und Berichtigung des Spiegelkreises unterscheiden sich nur sehr wenig von jenen des Spiegelsextanten. Es ist nämlich vor dem Gebrauche des Spiegelkreises zu untersuchen:

- 1) ob der Limbus und die Nonien richtig getheilt sind;
- 2) ob der Spiegel eben und parallele Seiten hat;
- 3) ob die Seiten des Prisma's eben und der Prismenaxe parallel sind;
- 4) ob Spiegel und Prisma auf der Limbusebene senkrecht stehen;
- 5) ob die Fernrohraxe dieser Ebene parallel läuft;
- 6) ob ein Collimationsfehler vorhanden und wie gross er ist;
- 7) ob die Einschlaggläser eben und parallel sind.

Die erste Untersuchung wird nach §. 151 und die zweite nach §. 31 vorgenommen. Was die dritte betrifft, so genügt es zunächst, sich auf dieselbe Weise wie bei einem Spiegel zu überzeugen, ob die Prismenflächen eben sind, da man bei der vierten Untersuchung findet, ob die Ebenen des Prisma's mit dessen Axe parallel laufen. Nachdem man nämlich nach §. 167 Nr. 3 den senkrechten Stand des grossen Spiegels, wenn er nicht vorhanden gewesen sein sollte, hergestellt hat, richtet man das Fernrohr auf ein sehr weit entferntes, gut beleuchtetes und scharf begrenztes Object, und versucht, durch Drehung der Alhidade dieses Object und sein doppelt gespiegeltes Bild zur Deckung zu bringen. Gelingt dieses vollständig, so sind alle Prismenebenen zur Limbusebene senkrecht und der Prismenaxe parallel; gelingt aber diese Deckung nicht, so stehen entweder alle oder eine oder zwei Prismenebenen nicht senkrecht auf der Ebene des Instruments. Man wird nun zunächst den Stand des Prisma's durch seine Stellschrauben mehrmals ändern und zusehen, ob hierdurch die mangelhafte Deckung, welche man vorhin beobachtet hat, verbessert oder gar beseitigt wird. Ist letzteres der Fall, so ist das Prisma richtig; kann man es aber in keiner Weise dahin bringen, dass das Object und sein Bild sich decken, so ist das Prisma pyramidenförmig und daher im Instrumente ebenso unbrauchbar wie ein prismatischer Spiegel. Die fünfte und sechste Untersuchung weichen von der vierten und fünften des Spiegelsextanten in keiner Weise ab, weshalb hier auf die Nummern 4 und 5 des §. 167 verwiesen wird. Die Prüfung der Einschlaggläser kann zwar auch wie bei dem Spiegelsextanten (§. 167, Nr. 6) vorgenommen werden; allein in dem vorliegenden Falle, wo sich der Träger der Einschlaggläser um eine auf der Instrumentenebene senkrecht stehende Axe (d) so weit drehen lässt, dass die Gläser zwei einander

entgegengesetzte Lagen erhalten, ist folgende bestimme nämlich auf bekannte Weise, indem man das zu untersuchende wie Fig. 220 zeigt. Hierauf drehe man dessen senkrechten Träger (d) in die Stellung der Fig. 221. Während vorhin die untere Hälfte des Objectivs durch das Einschlagglas verdeckt war, ist jetzt die obere Hälfte gedeckt, und wenn vorhin die Glasflächen (mit Bezug auf eine horizontal gedachte Instrumentenebene) nach oben zusammenliefen, schneiden sie sich jetzt nach unten. In dieser neuen (zweiten)

Fig. 220.

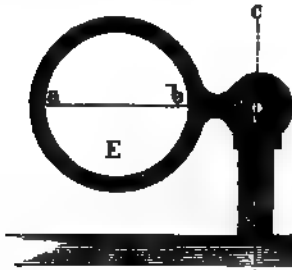
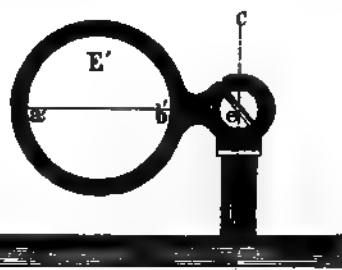


Fig. 221.



Lage des Glases bestimme man abermals den Collimationsfehler. Erhält man ihn eben so gross wie das erste Mal, so ist das Glas richtig; wird er aber grösser oder kleiner als bei der ersten Bestimmung gefunden, und ist sonst sorgfältig gearbeitet worden, so rührt die Abweichung von der prismatischen Gestalt des Einschlagglases her, und es ist der Fehler, den dieses Glas bewirkt, gleich der halben Differenz der Collimationsfehler für die beiden Lagen des Glases. In gleicher Weise kann man auch das zweite Einschlagglas für sich und dann in Verbindung mit dem ersten untersuchen. Sind die aufgefundenen Fehler so bedeutend, dass sie nicht vernachlässigt werden können, so müssen die Gläser durch bessere ersetzt oder die Fehler bei jeder Messung in Rechnung gebracht werden.

## Vierter Abschnitt.

### Instrumente zum Längenmessen.

§. 178. Zur unmittelbaren Messung von Entfernungen zweier Punkte, welche nicht lothrecht über oder unter einander liegen, bedient sich der practische Geometer je nach dem Grade der Genauigkeit, welchen seine Arbeit haben soll, oder nach der Beschaffenheit des Bodens, auf dem er misst, oder endlich nach der Zeit, die ihm für eine bestimmte Messung

gegeben ist, verschiedener Vorrichtungen, welche sich in fünf Gattungen eintheilen lassen, nämlich in Massstäbe, Messketten, Messbänder, Messräder und Distanzmesser. Jede dieser Gattungen besteht aus Arten, wovon wir die wichtigsten betrachten werden.

### 1. Massstäbe.

§. 179. Der Ausdruck **Massstab** bezeichnet erstens eine Vorrichtung mit genauen Längenmassen, welche entweder zur Abgleichung anderer Massstäbe oder zur unmittelbaren Ausmessung von geraden Linien dient; zweitens das Verhältniss der Entfernung zweier Punkte auf einem Plane zu ihrem Abstände in dem natürlichen Grundrisse; und drittens die Verjüngung der Längenmasse, welche zum Zwecke des Zeichnens auf einem passenden Stoffe abgetragen wird. Hier gebrauchen wir das Wort **Massstab** nur in der ersten Bedeutung; in den beiden letzteren ist es beim Plan- und Kartenzeichnen angewendet.

Die Massstäbe zur Abgleichung oder Ausmessung werden aus verschiedenen Stoffen angefertigt: aus Metall oder Glas, wenn sie die gesetzliche Längeneinheit eines Landes darstellen und zur Abgleichung anderer Massstäbe dienen (**Urmassstäbe**); bloss aus Metall, wenn sie zu den feinsten Längenmessungen bei Erforschung der Gestalt und Grösse der Erde oder eines Landes gebraucht werden (**Messstangen**); aus Holz, wenn es sich entweder um zwar minder feine aber doch immerhin noch sehr genaue Längenmessungen (**Messlatten**), oder um ganz gewöhnliche Messungen handelt (**Messstäbe**).

Das Spiegelglas ist für Normal- oder Urmassstäbe ein sehr geeignetes Material; zu Messstangen taugt es aber wegen seiner Zerbrechlichkeit nicht: hierzu sind nur Metalle, wie Eisen, Zink und Kupfer verwendbar, weil sie nicht bloss fester sind als Glas und Holz, sondern sich auch regelmässiger als das letztere ausdehnen und zusammenziehen. Der Verwendung des Holzes zu Messstangen steht übrigens weniger die Unregelmässigkeit in der an und für sich sehr geringen Ausdehnung,<sup>1</sup> als vielmehr die unter dem Namen Schwinden bekannte Formveränderung entgegen, welche aus dem Einflusse der atmosphärischen Feuchtigkeit entspringt und trotz aller Vorsichtsmassregeln niemals ganz zu vermeiden ist. Damit soll aber keineswegs behauptet werden, dass man mit gut gearbeiteten Messlatten aus völlig trockenem Tannenholze nicht noch eine Genauigkeit der Längenmessung von 1 auf 10,000 erreichen könnte.

### Urmassstäbe.

§. 180. Die Ur- oder Normalmassstäbe werden in den Staatsarchiven sorgfältig aufbewahrt und niemals zu unmittelbaren Messungen, sondern

<sup>1</sup> Nach Kater dehnt sich das Tannenholz für 1° C. nur um 0,000004 der Länge aus, welche es bei 0° hat.





#### 4. Instrumente z

ssen verwendet hatte, wieder  
 anderstossen der Messstange  
 eingetheilten Schieber ver  
 enden Stange gerückt werde  
 ers vermochte eine schwere  
 er Schieber mit einem Noni  
 ler Endflächen der Messstang  
 diese ganz wagrecht lagen:

wegen der nicht mehr par  
 weitere Verbesserung der B  
 ung ging von Reichenbac

en mit Schneiden versah und den Messkeil einfuhrte, der in §. 84  
 n wurde. Seit Reichenbach wendet man fast ausschliesslich Mess-  
 mit Schneiden und Keilen an; wenigstens sind die bedeutendsten  
 d Landesmessungen mit solchen Stangen gemacht worden. Wir  
 er Beschreibung den Basisapparat zu Grunde, welchen Schwerd  
 Münchener, womit die grosse Speyerer und die Nürnberger Basis  
 wurde, angefertigt und zur Messung der kleinen Speyerer Basis,  
 von S. 126 die Rede war, benützt hat.

r Apparat besteht aus 5 Messstangen von Eisen, jede von 4 Meter  
 l 1 Centimeter Dicke und Breite. Die beiden Enden jeder Stange  
 federhartem Stahl und keilförmig zugearbeitet; während die eine  
 urcht ist, liegt die andere wagrecht; beide stehen senkrecht zur  
 Messstange. Jede solche Stange befindet sich in einem hölzernen  
 aus dem nur die Stahlkanten 2 Centimeter weit hervorragen.  
 er sind, um das Verziehen zu hindern, der Länge nach entzwei  
 und mit entgegengesetzten Fasern zusammengeleimt, und zur  
 ng des Gehäuses gegen Biegung dient ein an der unteren Fläche  
 ter Riegel von  $6 \times 6$  Quadratcentimeter Querschnitt. In der Mitte  
 es ist jede Eisenstange festgeklemmt, nach den Enden hin kann  
 ber frei ausdehnen. Neben dieser Klemmung liegt das Thermo-  
 mit die Temperatur der Messstange gemessen wird, auf einem  
 rettchen so, dass die Kugel das Eisen berührt und die Röhre der  
 Messstabs parallel läuft. Ueber der Scala t in Fig. 222 (die eine

Fig. 222.



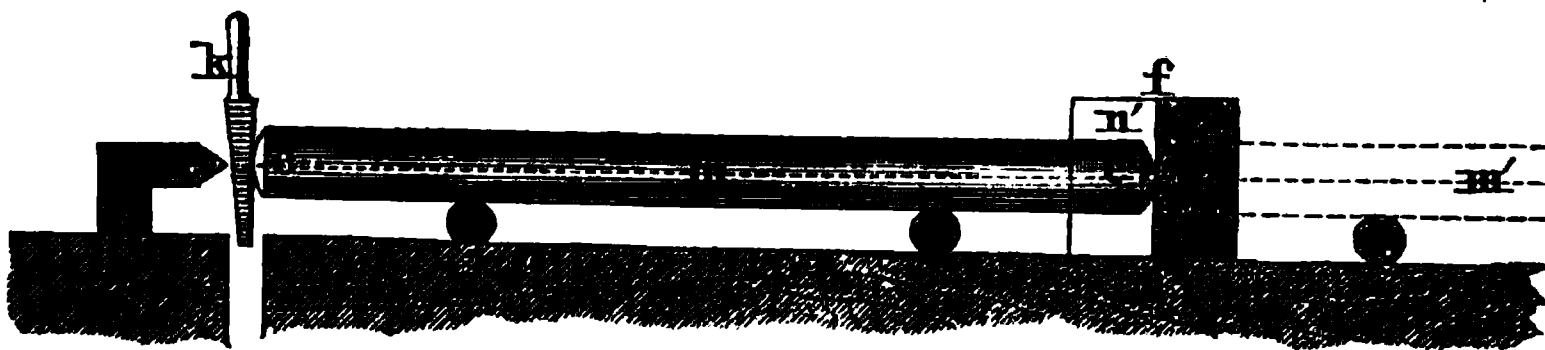
at des mittleren Theils einer Messstange mit ihrem Gehäuse vor-  
 der Deckel des Gehäuses durchbrochen und mit einer Glasscheibe  
 welche vor und nach der Ablesung des Thermometers mit einem  
 zugedeckt wird. Mitten auf dem Gehäuse ruht eine Röhrenlibelle



wenn man eine Stange mehrmals nacheinander messen wollte: hierbei musste nothwendig die Summe der Ordinaten dieselbe bleiben, wenn keine Temperaturveränderung stattfand. Der Unterschied in den Längen zweier Messstangen ist selbstverständlich dem Unterschiede der für diese Stangen gefundenen Ordinatensummen gleich.

Hat man zur Vergleichung keine schon genau bestimmte Messstange von gleicher Grösse und Einrichtung wie die übrigen, so lassen sich mit dem eben beschriebenen Comparator bloß die Unterschiede der einzelnen Messstangen, nicht aber ihre wahren Längen auffinden. Um diese zu erhalten, muss eine der Stangen mit einem Normalmasse verglichen werden. Da aber die Urmassstäbe anders eingerichtet und auch viel kürzer sind als die Messstangen (in der Regel wechselt ihre Länge zwischen 3 und 6 Fuss), so ist zur Vergleichung zweier so verschiedenen Massstäbe ein Comparator erforderlich, welcher das Abschieben des Urmassstabs gestattet, der je nach seiner Grösse zwei-, drei- oder viermal kleiner ist als die Messstange. Um zwischen den Endpunkten des Comparators eine passende Unterlage zu erhalten, befestigt man innerhalb der beiden Steinpfeiler  $p, p'$  (Fig. 224)

Fig. 224.



einen starken vierkantigen Balken  $b$  aus trockenem Tannenholze in wagrechter Lage so, dass der aufgelegte Urmassstab in die Höhe der Schneiden  $i, i'$  kommt. Auf diesem Balken zieht man zwei Linien, die der Mittellinie  $ii'$  parallel und um die halbe Massstabbreite von ihr entfernt sind. Zwischen diesen Linien geschieht die Abschiebung des Urmassstabs mit Hilfe zweier genau geschliffenen Messingplatten in folgender Weise:

Man bringt das Urmass ( $m$ ) in die gegebene Richtung, steckt zwischen dem vorderen Ende  $e$  und der Schneide  $i$  den Keil ein, schiebt die Messingplatte  $n$  an das andere Ende  $e'$  des Urmasses, nimmt hierauf den Keil und den Massstab  $m$  weg, rückt ganz dicht die zweite Platte  $n'$  an die erste  $n$ , legt jetzt das Urmass  $m$  an die Platte  $n'$  an, und verfährt weiter wie vorhin, bis man an das andere Ende  $i'$  des Comparators gelangt, wo der Raum zwischen dem Ende  $e'$  des Normalmasses und der Schneide  $i'$  durch den Keil gemessen wird. Es versteht sich von selbst, dass man sowohl bei der Abgleichung der Messstangen unter sich als bei der Vergleichung einer derselben mit dem Urmasse fortwährend die Temperatur der in Untersuchung befindlichen Massstäbe beobachten und jede ungleiche Erwärmung derselben vermeiden muss.

Schwerd hat eine Messstange Nr. 1 mit dem eisernen Meter-Etalon



von Lenoir, welcher sich am dem k. topographischen Bureau in München befindet und der schon früher zur Abgleichung der Messstangen für die grossen Grundlinien zur bayerischen Landesvermessung benützt wurde, verglichen und gefunden, dass dieselbe bei einer Temperatur von 13° R. eine Länge von 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0002607 hat. Da er die Längen der Messstangen Nr. 2 bis 5 bereits durch die Länge der ersten ausgedrückt hatte, so waren somit auch deren absolute Längen bekannt; es war nämlich bei 13° R.:

die Stange Nr. 1 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0002607 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0002607

" " Nr. 2 = Nr. 1 + 0<sup>m</sup>,0000582 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0002025

" " Nr. 3 = Nr. 1 — 0<sup>m</sup>,0002782 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0005389

" " Nr. 4 = Nr. 1 — 0<sup>m</sup>,0003616 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0006223

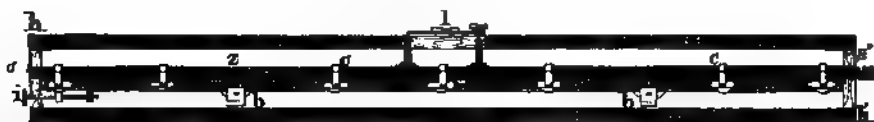
" " Nr. 5 = Nr. 1 — 0<sup>m</sup>,0002708 = 4<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0005315

und eine ganze Lage von 5 Stangen somit = 20<sup>m</sup> — 0<sup>m</sup>,0021559.

Den mittleren Fehler dieser Längenbestimmungen nimmt Schwerd nach seinen Untersuchungen hierüber zu 1,5 Milliontel jeder einzelnen Länge, d. h. für eine Messstange zu 0,006 Millimeter an. Die Ausdehnung des Eisens, aus welchem die Messstangen bestehen, wurde hierbei für 1° R und 1<sup>m</sup> Länge gleich 0<sup>m</sup>,00001445 gefunden.

§. 182. **Apparat von Bessel.** Dieser Apparat wurde bei der Gradmessung in Ostpreussen angewendet und ist in dem darüber erschienenen Werke von Bessel beschrieben. Er besteht aus 4 Messstangen, wovon jede aus einer Eisenschiene und einem Zinkstreifen zusammengesetzt ist. Durch die Verbindung zweier Metalle mit verschiedenem Ausdehnungsvermögen ist es nämlich möglich, die Temperatur und Ausdehnung der Messstangen genauer als durch ein Quecksilberthermometer zu messen, welches in der Regel nur die Temperatur der Luft im Gehäuse der Stangen anzeigt, während die Erfahrung lehrt, dass der Wärmegrad eines festen Körpers von dem seiner Atmosphäre sehr abweichen kann, namentlich wenn sich die Temperatur der letzteren schnell ändert. Von den folgenden Figuren 225 bis 232 ist die erste nicht bloss in kleinerem Massstabe als die übrigen

Fig. 225.

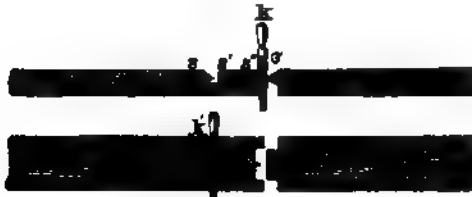


gezeichnet, sondern auch nach der Länge etwas verkürzt, um auf dem gegebenen beschränkten Raume eine vollständige Uebersicht der Anordnung einer Messstange zu gewähren.

Jede der Messstangen des Bessel'schen Basisapparats besteht zunächst aus einer Eisenschiene (e) von 2 Toisen Länge, 12 Linien Breite und 3 Linien Dicke. Auf dieser Schiene liegt ihrer ganzen Länge nach ein eben so dicker aber nur 6 Linien breiter Zinkstreifen (z). Die einander zugewendeten Flächen berühren sich möglichst gut, da sie abgehobelt sind. An

einem Ende — wir wollen es das linke nennen — ist der Zinkstreifen auf die Eisenschiene geschraubt und gelöthet; ausserdem aber haben beide keine feste Verbindung. Beide Enden des Zinkstreifens sind mit keilförmigen Stahlstücken ( $\sigma$ ) bewaffnet, deren Kanten den Berührungsflächen der Metallstreifen parallel sind. Auf dem rechten Ende der Eisenschiene, welche etwas über das Zinkende vorsteht, ist, wie aus Fig. 226 (wovon der obere

Fig. 226.



Theil einen Aufriss, der untere einen Grundriss zweier Stangenenden vorstellt) entnommen werden kann, ein Stahlstück ( $\sigma'$ ) befestigt, welches zwei aufrecht stehende Schneiden hat, von denen die eine ( $\sigma'$ ) dem bewaffneten Zinkende ( $\sigma$ ) und die andere ( $\sigma''$ ) der wag-

rechten Kante ( $\sigma$ ) der nächsten Messstange sich zuwendet. Durch einen Keil  $k$  kann man, wie bei dem Reichenbach'schen Apparate, den Abstand  $\sigma\sigma''$  zweier Messstangen, und durch einen zweiten Keil  $k'$  die Entfernung  $\sigma\sigma'$  messen, welche in einer bestimmten Beziehung zur Temperatur der Messstange steht. Jede solche Stange ist von einem hölzernen Kasten ( $h$ ) umgeben und nach Fig. 225 in sieben Punkten ( $c$ ,  $c$ ) unterstützt. Brächte man diese Unterstützungspunkte in den Wänden des Kastens selbst an, so würde die Messstange den Einflüssen, welche Feuchtigkeit und Wärme auf das Holz ausüben, unmittelbar ausgesetzt sein. Um dieses zu vermeiden, sind die Ruhepunkte an einer 6 Linien dicken und 14 Linien hohen Eisenschiene ( $a$ ) angebracht, welche durch den ganzen Kasten geht und mit ihrer hohen Kante auf zwei an den Wänden befestigten gabelförmigen Trägern ( $b$ ,  $b$ ) ruht. Die Unterstützungen ( $c$ ,  $c$ ) bestehen (nach den Figuren 227 und 228, welche

Fig. 227.

Fig. 228.

die beiden Enden einer Messstange nebst Gehäuse vorstellen, und nach Fig. 229, welche ein Schnitt durch die Stelle  $c'$  der Fig. 227 ist) aus Rollen ( $\varphi$ ,  $\varphi$ ), von denen je zwei sich gegenüberstehen und eine gemeinschaftliche von der Schiene  $a$  getragene Axe haben. Die Durchmesser dieser Rollen sind

nicht ganz gleich, sondern die der mittleren um so viel grösser als die aus dem Eigengewichte entspringende Biegung der Schiene *a* für den Fall fordert, dass die obersten Stellen der Rollen alle in einer Ebene liegen sollen. Auf dieser Ebene ruht die Eisenschiene *e*, und längs ihr lässt sich die ganze Messstange (*e z*) mit Hilfe einer Mikrometerschraube *i* (Fig. 227), welche unterhalb der Rolle *c'* in einer Kugel geht (Fig. 229) und in dem Ansätze *p* ihre Mutter hat (Fig. 280), sehr leicht etwas vor- und rückwärts bewegen. Zur Verhütung einer Seitenbewegung der Messstange dient ein an den Rollen angebrachter und die Metallstreifen fast berührender Bügel (*c'*). Die Röhrenlibelle (*l*), womit die Messstange wagrecht gestellt oder ihre Neigung gegen den Horizont gemessen werden kann, ist auf die aus Fig. 231 deutlich zu entnehmende

Fig. 229.



Fig. 230.



Fig. 231.

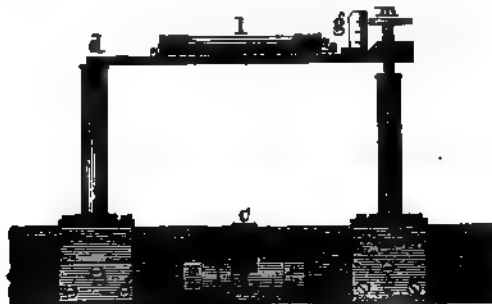


Fig. 232.



Weise mit der Eisenschiene *a* verbunden. Durch eine Mikrometerschraube (*m*), deren Kopf in 50 Theile getheilt ist, kann sie um eine wagrechte Axe (*d*) gedreht und folglich horizontal gestellt werden. Liest man bei dieser Stellung den Stand des Schraubenkopfes *m* gegen die auf der Libellenunterlage befestigte Scala *g* ab, und weiss man, bei welchem Stande die Libellenaxe der Messstange parallel läuft, so ist der Unterschied der Ablesungen dem Neigungswinkel der Messstange proportional und es kommt, wenn man den Neigungswinkel selbst will, nur darauf an, durch Versuch zu bestimmen, welcher Höhen- oder Tiefenwinkel der Libellenaxe einem Scalatheile entspricht. Mit der Schraube *m* und der Scala *g* können an dem Bessel'schen Basisapparate Neigungswinkel der Messstangen bis zu 3 Grad gemessen werden. Was die Keile betrifft, welche zu diesem Apparate gehören, so sind dieselben aus Glas und war von ihnen bereits in §. 85 die Rede.

Die Aenderungen, welche die Wärme in der Länge einer Messstange bewirkt, werden an dem so eben beschriebenen Apparate durch den Abstand (*s s'*) des freien Zinkends (*s*) von der nach innen gewandten Schneide (*s'*) des auf der Eisenschiene *e* befestigten Stahlstücks (*s' s''*) gemessen, und















Stab bezeichnet, an dem sich eine Hülsschraube  $s$  feststellen lässt. Diese  $Ht$  (a), in welchem die Ruthe auf einer senkrechten Schneide  $i$  ruht. Verrechnet die Wasserwaage einspielt, so liegt der Stab vertical und zeichnet den Punkt  $B$ , welcher von  $A$  in der Richtung entfernt ist. Im weiteren Verlaufe zieht man den Punkt  $M$  des Messstabs an  $B$  zu legen und wie eben angedeutet zu verfahren. Den Stab  $E$  kann man auf seiner Rückseite in der Art einteilen, dass ein mit der Hülse verbundener Zeiger die Höhen  $Fi$  angibt. Es ist klar, dass man mit dieser Einrichtung den Durchschnitt der Bodenoberfläche durch eine Verticalebene d. i. ein Profil derselben aufnehmen kann, indem man für die wagrechte Abscisse  $A$ , die man auf  $MC$  abliest, sofort die lothrechte Ordinate  $Fi$  durch den Zeiger auf  $EF$  erhält, wenn dieser letztere Stab vertical und so tief im Boden steht, dass der Punkt  $F$  die Oberfläche berührt. Um den Stab  $E$  lothrecht zu stellen genügt es, ihn, wenn die Ruthe wagrecht ist, so zu verrücken, dass eine in der Höhe von  $i$  an der einen Seitenwand des Ausschnittes  $a$  gezogene horizontale Linie  $ec$  durch die untere Kante des Ruthenstabs gedeckt wird; denn da  $ec$  senkrecht zu  $EF$  steht, so muss auch  $EF$  lothrecht sein, sobald  $ec$  wagrecht ist. Will man sich überzeugen, ob die Linie  $ec$  zur Axe des Stabs  $E$  senkrecht steht, so braucht man nur diesem Stabe mit Hilfe des Senkels eine lothrechte Stellung zu geben und zuzusehen, ob eine an die Linie  $ec$  gelegte berichtigte Libelle oder Setzwage einspielt.

§. 185. **Der Lachterstab.** Die Markscheider nennen ihren Messstab für den gewöhnlichen Gebrauch einen Lachterstab, weil er die Länge einer Lachter hat. Sein Querschnitt ist ein Rechteck von etwa einem Zoll Breite und 8 bis 10 Linien Höhe. Er wird aus ganz trockenem hartem Holze gemacht und an den Enden mit Messing- oder Kupferplättchen beschlagen, deren Seitenflügel in das Holz versenkt sind. Die Eintheilung des Stabs geschieht meist nach dem Decimalsystem: 1 Lachter in 10 Lachterzehntel, 1 Zehntel in 10 Zolle und 1 Zoll in 10 Primen; ausserdem ist die Eintheilung der Lachter in Achtel, des Achtels in 10 Zolle und des Zolls in 10 Primen gebräuchlich. Auf dem Lachterstabe wird indess die Theilung nicht weiter als bis zu den Zollen fortgesetzt. Kleinere Unterabtheilungen enthalten die Achtels- oder Zehntelstäbe, welche neben den Lachterstäben gebraucht werden. Ungefähr wie die Lachterstäbe sind die Messstäbe beschaffen, welche eine halbe Ruthe oder eine Klafter lang sind und welche man zum Abmessen der Ordinaten bei der Aufnahme oder der Absteckung krummer Linien gebraucht.

§. 186. **Der Feldzirkel.** Sind für flüchtige Aufnahmen Längen zu messen, so kann man sich der in Fig. 239 dargestellten Drehlatte oder des Feldzirkels bedienen. Dieses Werkzeug besteht aus einer Latte, an welcher sich in dem Abstände von einer Ruthe zwei senkrechte Spitzen





der in dem scheibenförmigen Ende (a) des Wirbels verschiebbar ist, so verbunden, dass er nach Lösung der Schraubenmutter (c, c'), welche sich am Ende des Bolzens (b) befinden, durch einfache Umdrehung mit der Hand den anstossenden Gliedern genähert oder von ihnen entfernt werden kann. Hat man auf diese Weise jeder Ruthe ihre gehörige Länge gegeben, so stellt man die Schraubenmutter c, c' an dem Ansätze i wieder fest und die Kette ist berichtigt. Wenn jede Abtheilung von 10 Fuss Länge verbessert werden soll, so hat eine Kette von 50 Fuss Länge 4 solche Wirbel nöthig; da indessen die eben beschriebene Vorrichtung doch schon zusammengesetzter ist, als sie die meisten Feldmesser wünschen werden, so dürfte es nach unserer Meinung auch genügen, wenn man sie nur einmal in der Mitte oder höchstens zweimal in Abständen von 15 Fuss von den Enden anwendet.

Zur Feldkette gehört noch eine entsprechende Anzahl kleiner Stäbchen, welche zum Bezeichnen der Stellen dienen, an denen bei der Abmessung einer Linie der vordere Kettenstab eingesteckt war und wohin der hintere Stab zu stellen ist. Man verfertigt sie am besten aus Stahldraht von einer Linie Dicke und macht sie ungefähr einen Fuss lang; unten sind sie zugespitzt und oben haben sie ein Oehr, um sich an dem Haken eines Ledergürtels aufhängen zu lassen, womit jeder der zwei Messgehilfen versehen ist. Diese Stahlstäbchen nennt man Kettennägeln (Zähler, Markirstäbchen). Es gehören deren zu jeder Messkette 10 Stück und es ist folglich nach ihrer gänzlichen Verwendung durch den vorderen Kettenzieher eine Länge von 500 Fuss abgemessen, wenn die Kette 50 Fuss lang ist. Der hintere Kettenzieher muss die 10 Stäbchen nach und nach an seinen Gürtel aufgenommen haben, die er nun wohlgezählt an den Vordermann wieder abgibt.

§. 189. Gebrauch. Es sei die zu messende Linie durch 2 Signale A und B bezeichnet, und es geschehe die Messung von A nach B. Der Hintermann steckt einen Kettenstab in A fest und richtet, indem er über diesen Stab weg nach B sieht, den Stab des Vordermanns ein. Hierauf spannt dieser die Kette in der Art an, dass er sie mittels des Kettenstabs ein wenig erhebt und über die Stelle, wo der Stab eben steckte, wegzieht. Dadurch bekommt der vordere Kettenstab einen neuen Standpunkt, der etwas vor dem ersten liegt. In das neue Loch wird der erste Kettennagel gesteckt, nachdem der Hintermann abgerufen wurde. Sobald dieser sich dem Kettennagel genähert hat, lässt er den Vordermann Halt machen, hängt den Nagel an und steckt den Kettenstab an dessen Stelle. Nun folgt wieder das Einrichten des Vordermanns, das Anspannen der Kette, das Einstecken eines Kettennagels, das Abrufen und Weitergehen wie vorhin. In der zweiten Hälfte der Linie A B richtet der Vordermann seinen Stab selbst ein, indem er ihn mit dem Signal A und dem hinteren Kettenstabe in eine Verticalebene bringt; das übrige Verfahren aber bleibt sich gleich. Hat der Vordermann das Ende B der Linie A B erreicht und trifft sein Stab nicht zufällig auf dieses Ende, so geht er darüber hinaus und steckt den

Kettenstab in der verlängerten Richtung fest, worauf der Messende die Länge vom Hinterstabe bis zum Signal B an der Kette abnimmt und zu den ganzen Kettenzügen addirt.

Ist die Breite eines Hohlwegs, eines Bachs oder sonst einer Vertiefung des Bodens, worüber die Kette noch reicht, zu bestimmen, so wirft man letztere, das eine Ende festhaltend, von einem Rande zum anderen, spannt sie in der vorgeschriebenen Richtung an und zählt an den betreffenden Gliedern die Breite ab, wobei wie vorhin die Zolle geschätzt werden. Geht die zu messende Linie A B über einen Fluss oder eine Schlucht von mehr als einer Kettenlänge Breite, so wird an dem einen Ufer die Kettenmessung unterbrochen und von dem anderen aus wieder fortgesetzt. Die ausgelassene Strecke wird durch zwei Pfähle bezeichnet, deren Entfernung später durch eine mittelbare Messung bestimmt wird. Auf abschüssigem Boden soll der tiefer stehende Messgehilfe die Kette so hoch erheben, dass sie nahezu wagrecht wird, wenn sie angespannt ist. Dabei muss er aber seinen Stab lothrecht halten, ihn also weder auf sich zuziehen, noch von sich abziehen lassen. Fällt die Bodenoberfläche so stark ab, dass das untere Kettenende nicht mehr genug erhoben werden kann, so muss statt der Kette ein Ruthenstab nach Fig. 238 zur Längenmessung angewendet werden. Ist die abzumessende Linie A B sehr lang, so ist es zweckmässig und sogar nöthig, sie durch Absteckstäbe in kleinere Theile zu theilen, weil sonst die Kettenstäbe nicht richtig einvisirt werden. An diesen Absteckstäben misst man vorbei, ohne ihren Abstand von einander oder von A und B zu bestimmen. Für die Prüfung der Messung ist es aber gut, wenn man nach den ersten 10 Kettenzügen den ersten Stab herausnimmt und an das Ende des zehnten Zugs, also in einer Entfernung von 500 Fuss von A aufstellt. Ebenso kann man mit dem zweiten und dritten Stabe verfahren, wobei beziehlich der erste und zweite an die Stelle von A treten.

§. 190. Genauigkeit. Die Längenbestimmungen mit der Messkette können unrichtig werden:

- 1) wenn die Kette nicht gehörig untersucht und berichtigt ist;
- 2) wenn sie fehlerhaft gebraucht wird, und
- 3) wenn der Boden kein sicheres Einstecken der Kettenstäbe gestattet.

Zu 1. Die Messkette wird schon nach dem Gebrauche von zwei bis drei Tagen länger, wesshalb sie häufig zu untersuchen ist. Man wählt dazu einen ebenen festen Boden, spannt darauf die Kette vollständig aus und misst längs derselben von der Spitze des einen Kettenstabs aus mit einem Ruthenstabe 5 Ruthen genau ab. Ist die Kette mit der Berlin'schen Vorrichtung versehen, so kann man jede Ruthe verbessern, ausserdem nur die ganze Kette. Es kann kommen, dass bei häufigem Gebrauche der Kette die in §. 188 beschriebenen Wirbel unwirksam werden, wenn die Bolzen b, b an das Mittelstück des Wirbels anstossen: in solchen Fällen müssen die Oehren und Kettenringe, welche zu sehr ausgedehnt sind, durch einen Schmied oder Schlosser wieder kreisförmig gemacht werden.

- Zu 2. Als einen fehlerhaften Gebrauch der Messkette sehen wir an:
- a) das Messen auf abschüssigem Boden ohne Rücksicht auf dessen Neigung;
  - b) die Einsenkung der Kette, wenn sie in der Mitte mehr als ein Procent der Kettenlänge beträgt;
  - c) das Einstellen des vorderen Kettenstabs ausserhalb der Verticalebene, welche die gerade Linie bezeichnet;
  - d) das Einstecken des hinteren Kettenstabs an einer anderen Stelle als der, welche der vordere Stab einnahm und der Kettennagel bezeichnete;
  - e) die schiefe Stellung des Kettenstabs, an welchem auf geneigtem Boden die Kette erhoben wird; endlich
  - f) das schlaife Anspannen der auf dem Boden liegenden Kette und das Vorrücken des hinteren Stabs beim Anziehen derselben.

Der Einfluss der hier aufgeführten Fehlerquellen auf das Ergebniss einer Kettenmessung lässt sich durch Rechnung bestimmen, wenn man die Grösse der vorgekommenen Abweichungen kennt; es ist jedoch diese Bestimmung in fast allen Fällen so einfach, dass wir sie hier mit Ausnahme des zweiten Falls übergehen zu dürfen glauben.

Wenn aber eine Messkette von der Länge  $l$  bei erhobenem unterem Ende in der Mitte um die Grösse  $p$  eingesunken ist, so besteht der Fehler, welchen man in diesem Falle begeht, darin, dass man den Bogen für seine Sehne nimmt und folglich die Entfernung der Kettenstäbe um den Unterschied zwischen Sehne und Bogen zu gross erhält. Nennt man den Fehler  $f$  und die (wagrecht gedachte)

Sehne  $A B$  der als Kreisbogen anzusehenden Kette  $s$ , so ist zunächst  $f = l - s$  und es kommt nun darauf an, diesen Unterschied durch  $l$  und  $p$  auszudrücken. Zu dem Ende sei  $r$  der Krümmungshalbmesser des Bogens  $A E B$  und  $\varphi$  der Winkel  $A C B$  im Bogenmass, d. h.  $r \varphi = l$ . Da  $s = 2 r \sin \frac{1}{2} \varphi$  und nach der Sinusreihe genau genug

$$\sin \frac{1}{2} \varphi = \frac{1}{2} \varphi - \frac{1}{48} \varphi^3 = \frac{l}{2r} - \frac{l^3}{48r^3}$$

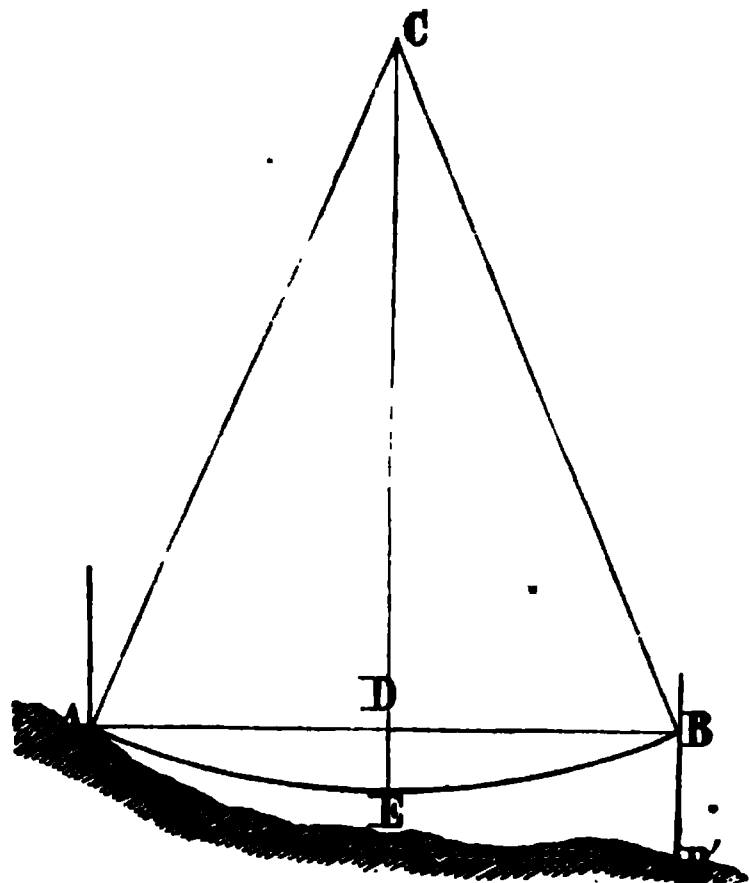
ist, so wird, wenn man substituirt, der Fehler

$$f = l - 2r \sin \frac{1}{2} \varphi = \frac{l^3}{24r^2}.$$

Nun ist aber  $p = r - r \cos \frac{1}{2} \varphi = r (1 - \cos \frac{1}{2} \varphi)$  und ebenfalls genau genug

$$\cos \frac{1}{2} \varphi = 1 - \frac{1}{8} \varphi^2 = 1 - \frac{l^2}{8r^2}$$

Fig. 243.



daher auch  $8rp = l^2$ , und wenn man hieraus  $r$  sucht und in den letzten Ausdruck für  $f$  setzt:

$$f = \frac{8p^2}{3l}. \quad (126)$$

Der Fehler wächst sonach mit dem Quadrat der Einsenkung, während er mit der Kettenlänge abnimmt. Würde  $p = 1',25$  betragen, so wäre für  $l = 50'$  der Fehler  $f = 1$  Duodecimalzoll und folglich  $= \frac{1}{600}$  der Kettenlänge. Ist dagegen, wie wir unter (b) als noch zulässig angenommen haben,  $p = 0',5 =$  einem Procent der Kettenlänge von 50 Fuss, so wird  $f = \frac{4}{3}$  Decimallinien oder  $= \frac{1}{3750}$  der Kettenlänge, also noch viermal kleiner als die durch Kettenmessungen erreichbare Genauigkeit. Man braucht folglich die Kette nicht übermässig zu spannen, um den Einfluss der Senkung unmerklich zu machen.

Zu 3. Der Boden gestattet kein sicheres Einstecken der Kettenstäbe, wenn er zu hart oder felsig und wenn er zu weich ist; hierdurch entstehen aber oft sehr bedeutende Fehler, und darum ist auch die Ungenauigkeit der Kettenmessungen auf sumpfigem und felsigem Boden am grössten. Ueber die Genauigkeit dieser Messungen können nur Vergleichen der selben mit Längenbestimmungen entscheiden, welche als fast fehlerfrei zu betrachten sind, nämlich mit Basismessungen und den daraus abgeleiteten Längen von Dreieckseiten. Solche Vergleichen lehren aber, dass die Genauigkeit der Kettenmessung auf ebenem festen Boden gleich 1 : 1000, auf Fels- und Sumpfboden gleich 1 : 500, und auf gemischtem Terrain gleich 1 : 700 gesetzt werden darf; man wird also, wenn man sonst vorsichtig arbeitet, unter den hier angegebenen Verhältnissen auf 1000 Fuss Länge beziehungsweise einen, zwei oder anderthalb Fuss fehlen.

#### Die Lachterkette.

§. 191. Diese Kette unterscheidet sich von der Feldkette durch ihr Material und ihre Einrichtung. Sie hat in der Regel eine Länge von 5 Lachter und folglich von 10 Meter da, wo die Lachter 2 Meter beträgt. Jede Lachter besteht aus 10 messingnen Gliedern (Lachterzehnteln) und es ist eine von der anderen durch ein Messingplättchen getrennt, während die Glieder unter sich wie bei der Feldkette durch Ringe und Oehren verbunden sind. Die erste und letzte Lachter zählen bis in die Mitte der an den Kettenenden befindlichen und zum Ausziehen und Anspannen dienenden Handringe, welche hier unentbehrlich sind, da man in Bergwerken mit Kettenstäben nicht arbeiten kann. Vorrichtungen zur Berichtigung erhalten die Lachterketten in der Regel nicht; wo sie aber damit versehen sind, weichen sie von den in §. 188 beschriebenen Einrichtungen nicht wesentlich ab. Die Prüfung der Lachterkette geschieht wie bei der Feldkette, und hinsichtlich ihres Gebrauchs ist Folgendes zu bemerken. Die gerade Linie, welche in Gruben durch die Lachterkette auszumessen ist, wird durch eine angespannte

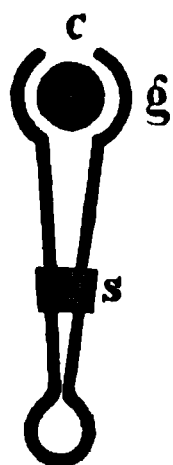


Schnur bezeichnet, welche man auf die erforderliche Länge von einer Rolle, worauf sie sich befindet, abwickelt und an den Endpunkten mit sogenannten Markscheideschrauben befestigt. Diese Schrauben, wovon Fig. 244 eine Ansicht gibt, werden aus Messing gemacht, sind etwa eine Linie dick, 2 bis 3 Zoll lang, haben oben einen Griff wie ein Schlüssel und unten ein Gewind wie die Holzschrauben, um entweder in das Zimmerwerk der Stollen und Schächte oder in besondere Holzstücke (Spreizen) eingeschraubt zu werden, die in dem Gesteine befestigt sind. Bei wagrechten (söhligen) und schiefen (flachen) Linien setzt man die Schrauben höchstens 8 Lachter weit aus einander, weil sonst die Schnur eine für die Genauigkeit der Messung schädliche und nach Formel (126) zu beurtheilende Biegung annimmt; bei lothrechten (seigeren) Linien ist diese Vorsicht selbstverständlich unnöthig. Die Spannung der Schnur wird mit der Hand dadurch geprüft, dass man dieselbe mit ausgespanntem Daumen und Mittelfinger von unten, mit dem Zeigefinger aber von oben drückt und zusieht, ob eine Biegung stattfindet oder nicht; wenn nicht, ist die Spannung hinreichend, um die Lachterkette an die Schnur anzulegen und deren Länge zu messen. Die Zählstäbchen, deren man sich bei Messungen mit der Feldkette bedient, werden hier durch einfache messingne Zwingen ersetzt, welche die Gestalt von Cigarrenhaltern haben und wovon eine in Fig. 245 dargestellt ist. Indem man die Spange *s* anzieht, umfassen die Griffe *g* der Zwingen die Schnur (*c*). Ueber den so bezeichneten Punkt wird bei dem zweiten Kettenzuge die Mitte des hinteren Endrings gebracht und wie bei dem ersten Zuge weiter verfahren. Hat der Markscheider eine Linie „über Tage“, d. h. auf der Erdoberfläche zu messen, so bedient er sich einer Feldkette, welche nach Lachtern abgetheilt ist.

Fig. 244.



Fig. 245.



### 3. Messschnüre und Bänder.

§. 192. Bei den Geometern sind Schnüre und Bänder wegen ihrer grossen Dehnbarkeit beim Anspannen und ihrer Veränderlichkeit bei feuchtem Wetter fast ganz ausser Gebrauch gekommen; manche Markscheider ziehen indess eine Messschnur der Lachterkette vor, und in besonderen Fällen bedienen sich auch die Ingenieure oder Geometer mit Vortheil einer starken Messschnur: dann nämlich, wenn sie Aufnahmen und Wassermessungen an breiten und tiefen Flüssen und Strömen zu machen haben und sehr umständliche mittelbare Längenmessungen vermeiden wollen.

Die Messschnüre werden aus gut gehecheltem Hanf oder aus Bast drei Linien dick gemacht und zum Schutze gegen die Wirkungen der Nässe

#### 4. Instrumente zum Längenmessen.

r Oel gesotten. Die grösseren Abtheilungen derselben (Ruthen, ter) werden durch festgenähte farbige Streifen bezeichnet, die r durch Ruthen- oder Lachterstäbe nachgemessen. Zum be- brauche wird die beliebig lang zu machende Schnur auf gewunden, von der sie sich leicht abwickeln lässt. Bei auf grossen Flüssen ist es wegen des Einsinkens der auf nungen gespannten Schnur rathsam, an dieselbe stellenweise mmer von Holz, wie sie an Fischernetzen zu sehen sind, an-

ene Messbänder gibt Netto folgende zweckmässige Einrich- n zollbreites Zwirnband, das die dem Messbande zu gebende 00 oder 150 Fuss um 2 Fuss übertrifft, wird in kochendem ht, dann sorgfältig getrocknet und mittels einer überwendlichen appnaht so zusammen genäht, dass es nunmehr einen halben

Hierauf legt man das Band einen Monat lang in Leinölräus, ledann an einem luftigen Orte, gibt ihm die erforderliche Ein- che durch farbige Streifen kenntlich gemacht wird, und be- ten an zwei um ihre Axen drehbare Blechhülsen. Diese Hülsen werden von zwei Metallringen getragen, durch welche sich Kettenstäbe stecken lassen, wenn man nicht vorzieht, sie in der Hand zu halten. Bei ausgespanntem Bande sollen die Mitten dieser Ringe genau um 100 oder 150 Fuss von ein- ander abstehen, worauf also bei der Befestigung der Band- enden an die Hülsen zu achten ist. Wenn man nicht be- absichtigt, das Messband bei dem Gebrauche an Kettenstäben zu befestigen (was allerdings weniger räthlich ist), so wickelt man dasselbe vortheilhafter mittels einer Kurbel (k) auf einer Trommel auf, wie Fig. 246 zeigt. Bei dem Gebrauche hält der eine Messende die Handhabe der Trommel, der andere den am vorderen Ende des Bands angebrachten Griff (a).

ne Messbänder. Die nämliche Art der Aufwicklung wird aus schwachem Stahl- oder Messingblech angefertigten Mess- wendet, welche ihre Länge weniger verändern als die leinenen was genauer sind als diese. Man kann annehmen, dass der chied zwischen einem ganz trockenen und einem ganz nassen ebande  $\frac{1}{500}$  der ganzen Länge beträgt. Rechnet man hierzu der übrigen Fehlerquellen, so wird die Genauigkeit dieser Art dern im Durchschnitte wohl nur auf  $\frac{1}{300}$  angeschlagen werden rend die Genauigkeit der Metallbänder jener der Messketten

In vorzüglicher Ausführung werden Stahlbänder mit Scala ung in erhabener Schrift von Chestermann in Sheffield ausge- e sind dergleichen aus den meisten deutschen mechanischen um billigen Preis zu beziehen.

## 4. Messräder.

§. 193. Die Idee, Räder zum Messen von Entfernungen auf Strassen zu benutzen ist sehr alt. Schon bei Vitruvius<sup>1</sup> findet man sie als eine überlieferte bezeichnet und auf Wegmesser für Fuhrwerke und Schiffe angewendet. Zu Anfang des 16. Jahrhunderts machte der Leibarzt der französischen Königin Katharine von Medici behufs einer Gradmessung den Versuch, die Entfernung zwischen Paris und Amiens mittels eines Wagenrads zu messen, das bei jeder vollendeten Umdrehung an eine im Wagen befindliche Glocke anschlöß. Eine ähnliche Erfindung wird Kaiser Rudolf II. zugeschrieben, und der bekannte Physiker und Meteorolog Deluc bediente sich auf seinen Reisen des Wegmessers von Hohlfeld, der aus einem wie ein Schubkarrenrad sich bewegenden Cylinder mit Zeigern und Zifferblättern bestand. Vor wenig Jahren (1868) hat Ministerialrath v. Steinheil in München ein Messrad für Basismessungen in Vorschlag gebracht, wovon wir eben so wie von dem des Mechanikers R. Wittmann in Gaudenzdorf bei Wien für gewöhnliche Feldmessungen hier Notiz nehmen wollen.

## Das Messrad von Steinheil.

§. 194. Die Erfindung dieses Rads wurde durch die Aeusserung Bessel's,<sup>2</sup> dass es erwünscht wäre, die Länge von Bögen auf der Erdoberfläche unmittelbar d. i. ohne Triangulation messen zu können, veranlasst, wie Herr v. Steinheil in seinen ersten Mittheilungen über das fragliche Rad an Herrn Prof. Peters, den Herausgeber der astronomischen Nachrichten (s. daselbst Nr. 1728, Bd. 72, S. 369) selbst angibt. Seit diesen aus dem Jahre 1869 stammenden Mittheilungen, welche sich auf ein noch unvollendetes Messrad beziehen, ist für dessen Vollendung und die Bestimmung seiner Constanten nichts mehr geschehen, da Herr v. Steinheil im September 1870 starb und die Allgemeine Conferenz der europäischen Gradmessung im Jahre 1871 zwar den Wunsch aussprach, dass der Verfasser dieses Buchs die Sache in die Hand nehmen möge, für die Erfüllung der hierzu nöthigen Voraussetzungen aber keine bestimmte Anordnung traf.

Das zur Zeit im Conservatorium der mathematisch-physicalischen Sammlung des Staats in München aufbewahrte Steinheil'sche Messrad bedarf zu seiner Anwendung eines Schienenstrangs zwischen den Endpunkten der zu messenden Linie, da sich seine Einrichtung auf die durch Reibung bedingte Abwicklung des Radumfangs gründet. Diesen Schienenstrang setzen wir hier als gegeben voraus. Auf demselben bewegt sich das Rad, welches aus einem von einer gusseisernen Scheibe getragenen Gussstahlringe von 1 Meter Durchmesser, 1 Decimeter Breite und 1 Centimeter Dicke besteht.

<sup>1</sup> M. Vitruvii Pollionis architectura, lib. X, cap. 14.

<sup>2</sup> Gradmessung in Ostpreussen, §. 9, S. 36.

Damit sich dieser genau cylindrisch abgedrehte Stahlring zwischen zwei dem Schienenstrange parallelen verticalen Ebenen bewege, wird das schubkarrenförmige Gestell desselben von zwei vor und hinter ihm angebrachten, mit Spurkränzen versehenen Laufrädern geleitet, wovon das eine in horizontaler, das andere in verticaler Richtung berichtigt werden kann. Ein an der Axe des Stahlcylinders angebrachtes Zählrad gibt dessen ganze Umdrehungen an, während Bruchtheile einer Umdrehung auf einer am Seitenrande des Stahlreifs anzubringenden Scala mit Mikroskopen abzulesen sind. Leider fehlt bis jetzt nicht nur diese Theilung, sondern auch ein System von Thermometern, womit die ohne Zweifel ungleich vertheilten Temperaturen des Messrads gemessen werden können. Für die Herstellung eines Comparators hat der Verfasser bereits Einleitungen getroffen, und er wird ihn vollenden, sobald das Centralbureau der Europäischen Gradmessung das noch unfertige Rad erworben und mit den erforderlichen Hilfsapparaten versehen haben wird.

#### Das Messrad, von Wittmann.

§. 195. Dieser cylindrische Massstab dient zur Bestimmung von Längen an Strassen, Eisenbahnen, Flüssen, Canälen, Grundstücken, Ortschaften u. s. w. und ersetzt nicht nur die Messketten und Messbänder, sondern übertrifft sie an Bequemlichkeit und Genauigkeit, sowie darin, dass man mit ihm die Länge von krummen Linien, welche oft auf Strassen und an Flüssen zu messen sind, unmittelbar bestimmen kann. R. Wittmann verfertigt Räder für Strassen und Wege, welche am Umfange platt sind, und für Eisenbahnen, welche am Umfange Spurkränze haben. Die Radumfänge werden auf Wunsch verschieden gross gemacht, in der Regel  $\frac{1}{2}$  oder 1 Meter. Hiernach richtet sich auch der Preis für ein Messrad, welcher zwischen 8 und 16 Thaler wechselt.

Das in Figur 247 dargestellte Messrad der geodätischen Sammlung an der polytechnischen Schule zu München hat einen platten Umfang von 1 Meter Länge. An der Axe des Rads ist ein Zählwerk (A) und ein Bügel (B) mit einem Stabe (C) zur Führung des Instruments befestigt. Das Zählwerk, das man in der Figur nur von der Seite sieht, ist ein prismatisches Kästchen von 16<sup>cm</sup> Länge, 4<sup>cm</sup> Breite und 3<sup>cm</sup> Dicke, das vier Drücker (a, a) enthält, denen eben so viele fensterartige Oeffnungen (b, b) auf der oberen Seite des Kästchens entsprechen, wodurch man jene Ziffern ablesen kann, welche von links nach rechts die Tausender, Hunderter, Zehner und Einer der ganzen Radumwälzungen vorstellen, während ein bei c angebrachtes Zifferblatt mit Zeiger die Zehntel einer Umdrehung angibt.

Vor Beginn einer Messung stellt man das Zählwerk in allen Theilen auf Null, was bei dem Zeiger c durch Drehen des Rads und bei den durch die Oeffnungen b, b erscheinenden Ziffern durch Pressen und Drehen der Drücker

a, a geschieht. Bei dieser let die Ziffern in den für Null l dann der Fall ist, wenn die a Stahlfeder genau an dessen V zweite Null eingestellt wird, di sein. Ist dieses geschehen, a der Messung ein, indem man den Triebstock senkrecht darüber hält, und beginnt die Bewegung. Während der Fahrt wird der Stock, wie die Figur zeigt, schief gehalten, um das Rad anzutreiben, und am Schlusse der Messung erhält er wieder eine Richtung, welche lothrecht über dem Endpunkte steht. Den vom Rade zurückgelegten und vom Zählwerke in Metern ausgedrückten Weg kann man ohne alle Mühe auf der Oberfläche des Kästchens ablesen.

Da auf Strassen leicht Koth am Radumfange hängen bleibt, welcher die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt, so ist an dem Bügel B eine federnde Krücke d angebracht, welche dieses Anhängsel beseitigt. Messräder für Eisenbahnen bedürfen dieser Vorrichtung nicht.

Nach den Versuchen, welche der Verfasser mit zwei Wittmann'schen Messräder und Bretterböden ausgeführt der Längenmessung jener mit die, welche durch Ketten, kann. Zu demselben Ergebn mit zwei grösseren Wittmann gepflasterten Strassen, festgetre

stellt und im XXVII. Jahrgange, 1875, Seite 45 bis 48 der Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins beschrieben hat.

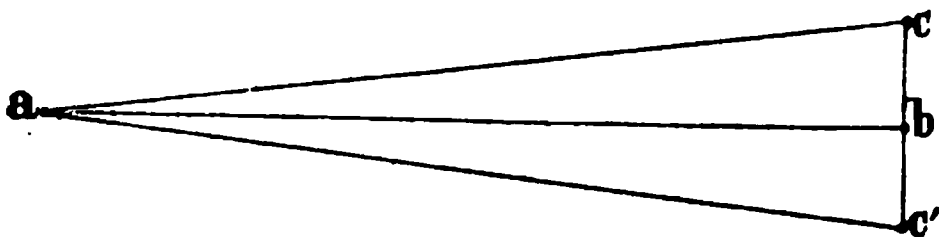
### 5. Distanzmesser.

§. 196. Distanzmesser heissen diejenigen Messinstrumente, welche die Entfernung zweier Punkte unmittelbar angeben, nachdem man mit ihnen von dem einen Punkte aus einen auf dem anderen befindlichen Gegenstand in bestimmter Weise beobachtet hat. Dieser Gegenstand ist entweder ein natürlicher, welcher dem entfernten Punkte ein für allemal angehört und also nicht erst aufgestellt zu werden braucht; oder er ist ein künstlicher, welcher eigens zu dem Zwecke der Längenmessung angefertigt, durch einen Messgehilfen auf dem zweiten Endpunkte aufgestellt und die Distanzlatte genannt wird. Je nachdem nun ein Distanzmesser die Aufstellung einer solchen Latte fordert oder nicht, heisst er ein Distanzmesser mit oder ohne Latte. Für viele und namentlich militärische Zwecke sind Distanzmesser ohne Latte sehr erwünscht: es ist aber noch kein ganz entsprechendes Instrument dieser Art vorhanden, so viele Vorschläge auch hierzu seit einigen Jahrhunderten gemacht und ausgeführt wurden. Unmöglich, wie manche Schriftsteller über practische Geometrie glauben, ist die Herstellung brauchbarer Distanzmesser ohne Latte nicht, aber schwierig bleibt sie wegen der ausserordentlichen Genauigkeit, womit alle Theile derselben gearbeitet sein müssten, wenn man grosse Entfernungen, wie es die militärischen Zwecke verlangen, mit entsprechender Genauigkeit bestimmen will. Der Verfasser hat sich hievon überzeugt, indem er nach seiner Angabe einen auf das Princip des Spiegelsextanten gegründeten Distanzmesser ohne Latte anfertigen liess; dieses Instrument ist aber höchstens für Entfernungen von 300 Meter noch brauchbar und wird deshalb hier nicht beschrieben, so wie auch die Beschreibung der übrigen bekannt gewordenen Distanzmesser ohne Latte aus dem gleichen Grunde unterbleibt. Um so ausführlicher werden dagegen die bereits im Gebrauche stehenden Distanzmesser mit Latte behandelt werden. Nochmals hervorhebend, dass nur dasjenige Instrument ein Distanzmesser ist, welches die gesuchte Entfernung durch Beobachtung von einem einzigen Standpunkte aus gibt, verweisen wir bezüglich des sogenannten „Franz'schen Distanzmessers“ und eines Ersatzmittels für Militärdistanzmesser auf unsere Bemerkungen über die Messung langer gerader Linien im II. Bande dieses Werks, Seite 90, Nr. 7.

Eine Linie, deren Länge wir nicht mit Massstäben oder Messketten unmittelbar bestimmen können, erhalten wir mittelbar dadurch, dass wir sie mit zwei anderen Linien zu einem Dreiecke verbinden und in diesem drei Stücke, darunter eine Seite, messen. Das Dreieck ist für den vorliegenden Zweck am brauchbarsten, wenn es entweder rechtwinklig oder gleichschenkelig ist und die gesuchte Linie in dem ersteren Falle die grössere

Kathete, in dem letzteren aber die Höhe des gleichschenkligen Dreiecks bildet, während die bekannte oder zu messende Seite beziehlich die kleinere Kathete oder die Grundlinie des gleichschenkligen Dreiecks vorstellt. Ist nun (nach Figur 248) in dem rechtwinkligen Dreiecke  $a b c$  die Kathete  $a b$  aus der Linie  $b c$  und dem

Fig. 248.



Winkel bei  $a$  zu finden, so können folgende vier Fälle stattfinden.

- 1) Der Standpunkt des Instruments befindet sich in  $b$  und es ist
  - $\alpha$ ) der Winkel bei  $a$  constant, dagegen die Linie  $b c$  mit  $a b$  veränderlich; oder es ist
  - $\beta$ ) die Länge  $b c$  constant, der Winkel bei  $a$  aber mit der Grösse von  $a b$  veränderlich.
- 2) Der Standpunkt des Instruments befindet sich in  $a$  und es ist wieder
  - $\alpha$ ) der Winkel bei  $a$  constant und die Linie  $b c$  mit der Entfernung  $a b$  veränderlich; oder es ist
  - $\beta$ ) die Länge  $b c$  constant und der Winkel bei  $a$  mit der Grösse von  $a b$  veränderlich.

Dieselben vier Fälle ergeben sich, wenn man statt des rechtwinkligen Dreiecks  $a b c$  das gleichschenklige  $a c c'$  und für  $b c$  die doppelte Länge  $c c'$  setzt, und es entsprechen die beiden ersteren Fälle den Distanzmessern ohne Latte, die beiden letzteren aber den Distanzmessern mit Latte, wobei  $b c$  oder  $c c'$  die Latte vorstellt. Es kommt also bei der Einrichtung eines Distanzmessers immer darauf an, entweder zu den unveränderlichen Grundlinien ( $b c, c c'$ ) die veränderlichen Winkel bei  $a$ , oder zu den constanten Winkeln bei  $a$  die veränderlichen Grundlinien ( $b c, c c'$ ) zu finden. Unter den Distanzmessern mit Latte sind die nach Reichenbach und Stampfer eingerichteten die bekanntesten und besten, und da sie die beiden Fälle 2,  $\alpha$  und 2,  $\beta$  darstellen, so genügt es, diese allein zu betrachten.

#### Der Reichenbach'sche Distanzmesser.

§. 197. **Einrichtung.** Dieser Distanzmesser, welcher dem Falle 2,  $\alpha$  entspricht und in Fig. 249 abgebildet ist, hat, wie jedes Instrument dieser Art, zwei Hauptbestandtheile: ein Fernrohr und eine Distanzlatte.

Das Fernrohr ( $F$ ) befindet sich hier an einem massiven Ständer ( $S$ ), welcher auf einem Messinglineale ( $B C$ ) senkrecht steht und eine Drehung des Rohrs um eine zur Ebene des Lineals parallele Axe ( $D F$ ) gestattet. Aus dieser Zusammenstellung des Fernrohrs mit einem Lineale erkennt man sofort, dass der Reichenbach'sche Distanzmesser zugleich eine Kippregel ist und also vorzugsweise zu Messtischaufnahmen angewendet wird. Wir brauchen demnach die Befestigung des Ständers auf dem Lineale, die Verbindung des Fernrohrs mit dem Gradbogen ( $V$ ) und dessen Theilung,



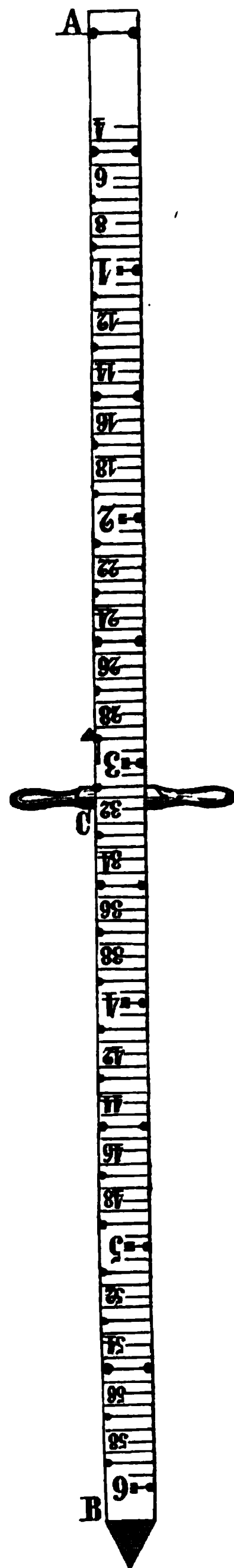


genannten Rings liegt, bewirkt; ihr Zweck ist, dem Abstände der Kreuzpunkte  $o$ ,  $u$  die ihm zukommende Grösse zu geben. Jedes der zwei Fadenkreuze hat ein eigenes Ocular: dem oberen Kreuzpunkte  $o$  entspricht das Ocular  $a$  und dem unteren Fadenkreuze  $u$  das Ocular  $a'$ . Die Axen ( $a\ o$ ,  $a'\ u$ ) dieser Oculare sind der Fernrohraxe parallel. Die Fassung ( $A\ B$ ) der Oculare lässt sich, wie Fig. 251 zeigt, in der Richtung dieser Axen so weit verschieben als nöthig ist, um das deutliche Sehen der Kreuzfäden zu bewirken.

Die Distanzlatte (Fig. 253) wird aus sehr trockenem Tannenholze in einer Dicke von etwa 3<sup>cm</sup>, einer Breite von 9 bis 12<sup>cm</sup> und einer Länge von 3 bis 4,5<sup>m</sup> angefertigt. Das untere Ende ist mit einem eisernen Schuh beschlagen, in einer Höhe von 1,2 bis 1,5<sup>m</sup> befinden sich zwei Handgriffe ( $C$ ) zum Halten, und etwas oberhalb dieser Griffe ist an der schmalen Seite der Latte ein Diopter ( $D$ ) so angebracht, dass es beim Gebrauche senkrecht zur Lattenaxe, ausserdem aber parallel zu ihr gestellt werden kann. Der Zweck dieses Diopters ist, die Latte nahezu senkrecht gegen die optische Axe des Fernrohrs zu stellen. Indem nämlich der Arbeiter, welcher die Latte hält, diese in ihrer Richtung gegen das Loth so lange verändert, bis die Absehlinie des Diopters auf das Objectiv des Fernrohrs trifft, wird die bezeichnete Stellung in einem für die Praxis genügenden Grade der Genauigkeit erlangt.

Für eine bequeme Messung ist es sehr wichtig, die Theilung der Latte möglichst übersichtlich und so einzurichten, dass man sofort die auf einen bestimmten Punkt des Instruments bezogenen und für die Richtung der optischen Axe des Fernrohrs giltigen Entfernungen der Latte unmittelbar ablesen kann. Die Bezeichnungsweise der Distanzlatten ist nach den Ansichten der Verfertiger und der Besteller verschieden; wir geben in Fig. 253 diejenige, welche in dem Ertel'schen Institute in München gebräuchlich ist und in der Praxis sich als gut bewährt hat. Die Entfernungen sind hier auf die Drehaxe des Fernrohrs bezogen und es ist die Bezifferung auf die Voraussetzung gegründet, dass das untere Fadenkreuz ( $u$ ) des Fernrohrs jederzeit auf den am oberen Ende der Latte befindlichen Nullpunkt ( $A$ ) eingestellt wird. Wenn alsdann das obere Fadenkreuz ( $o$ ) einen der Striche deckt, welche den gross geschriebenen Ziffern 1, 2, 3, 4....

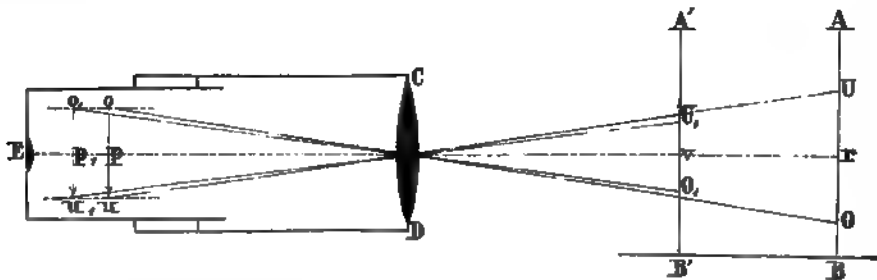
Fig. 253.



gegenüberstehen und durch einen Punkt und Pfeil ausgezeichnet sind, so stellt der zwischen den Fadenkreuzen gesehene Lattenabschnitt die Entfernungen 100, 200, 300, 400 ... Fuss vor. Trifft das obere Fadenkreuz auf einen derjenigen Striche, an welche in etwas kleinerer Schrift gerade Zahlen wie z. B. 14, 16, 18, 22 ... gesetzt sind, so entsprechen die von den Fadenkreuzen gedeckten Lattenabschnitte bezüglich den Entfernungen 140, 160, 180, 220 ... Fuss. Die Abschnitte, welche den Entfernungen 50, 150, 250, 350 ... Fuss angehören, sind durch Striche kenntlich gemacht, welche die ganze Lattenbreite zur Länge haben und in zwei Punkte endigen. Hier-nach wird man sich die übrigen Zeichen leicht selber deuten können; nur die Bemerkung sei noch erlaubt, dass die Theilstriche nach unten an Dicke zunehmen, weil ihr Schwinkel mit den Entfernungen kleiner wird, und dass man bei Entfernungen von mehr als 400 Fuss die Zwischenräume, welche je 5 Fuss vorstellen, durch Schätzung in einzelne Fuss abtheilen muss, was übrigens bei einiger Uebung mit hinreichender Genauigkeit geschehen kann. Die verkehrte Aufschrift der Ziffern bedarf wohl keiner besonderen Erklärung mehr.

Da für Feldmessungen das Fussmass noch auf längere Zeit gestattet ist, und da selbst nach seiner Aufhebung die Geometer ihre für dieses Mass eingerichteten Distanzlatten und Reductionstabellen nicht sofort abschaffen werden, da Aufnahmen in einem bestimmten Verjüngungsverhältnisse (z. B. 1:5000, 1:1250 u. s. w.) unter sonst gleichen Umständen mit jeder Längeneinheit richtig gemacht werden können: so wird es hoffentlich nicht als passiver Widerstand gegen die Einführung des metrischen Systems in Deutschland angesehen werden, wenn hier noch eine Distanzlatte für Fussmass abgebildet ist und im Anhang hierauf bezügliche Reductionstabellen mitgetheilt werden. Uebrigens werden wir in Fig. 258 auch eine neue Meterlatte zum Reichenbach'schen Distanzmesser mittheilen und deren Verwendung in lothrechter Stellung besprechen.

Fig. 254.



§. 198. Wirkungsweise. Wir denken uns jetzt das Fernrohr wagrecht und auf die Richtung seiner Axe die Latte lothrecht gestellt, wie dieses die Fig. 254 andeutet, in der AB die Latte, CD das Objectiv, o u das Fadenmikrometer und E das Ocular vorstellt.

Ist die Entfernung ( $m r$ ) der Latte sehr gross, so wird sich ihr Bild in der Brennebene ( $p$ ) des Objectivs erzeugen und es müssen folglich die beiden Fadenkreuze ( $o, u$ ) in diese Ebene gebracht werden, was durch Verschiebung der Ocularröhre geschieht. Der Winkel, unter dem man die Latte von  $m$  aus sieht, ist in diesem Falle durch die drei Punkte  $o, m, u$  bestimmt; die Absehlilien  $o m, u m$  gehen auf die Punkte  $O, U$  der Latte, und die Fadenkreuzpunkte decken die Bildpunkte  $o, u$ . Wird die Latte näher an das Instrument (nach  $v$ ) gerückt, so erzeugt sich ihr Bild entfernter vom Objectiv als vorhin; wir nehmen an in der Ebene  $p_1$ . Soll dieses Bild durch das Ocular deutlich gesehen und von den Fadenkreuzen ohne Parallaxe gedeckt werden, so müssen diese zurückgezogen werden, bis sie in die Bildebene  $p_1$  kommen. Dann ist aber der Winkel, welcher den der Entfernung  $m v$  zugehörigen Lattenabschnitt  $U_1 O_1$  bestimmt, kleiner als bei der ersten Lattenstellung, nämlich gleich  $o_1 m u_1$ . Rückt die Latte dem Instrumente noch näher, so findet abermals eine Zunahme der Bildweite und eine Abnahme des vom optischen Mittelpunkte ( $m$ ) ausgehenden Schwinkels statt. Bezeichnet

$a$  die Entfernung der Latte vom optischen Mittelpunkte des Objectivs,

$a_1$  die Entfernung des Lattenbilde von demselben Punkte,

$f$  die Brennweite des Objectivs,

$h$  die Grösse des durch die Absehlilien gedeckten Lattenabschnitts,

$b$  den Abstand der Fadenkreuzpunkte von einander,

so finden wegen der Aehnlichkeit der Dreiecke, welche bei  $m$  ihre Scheitelwinkel haben, und in Folge der dioptrischen Hauptformel folgende zwei Gleichungen statt:

$$\frac{a}{a_1} = \frac{h}{b} \text{ und } \frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{a_1}.$$

Setzt man den Werth von  $a_1$  aus der zweiten in die erste Gleichung, so wird aus dieser

$$a = \frac{f}{b} h + f \text{ und } a - f = \frac{f}{b} h. \quad (127)$$

Aus der letzten Gleichung ist zu entnehmen, dass nicht die vom Objectiv aus gezählten Entfernungen der Latte, sondern jene, welche von dem vorderen Brennpunkte des Objectivs an gezählt werden, den Lattenabschnitten genau proportional sind.

Da die Brennweite  $f$  des Objectivs und der Fadenabstand  $b$  an einem und demselben Fernrohre constante Grössen sind, so kann man das Verhältniss von  $f : b = c$  setzen; und da ferner die Drehaxe des Fernrohrs sehr nahe um die halbe Brennweite des Objectivs von diesem absteht, so wird, wenn man auf beiden Seiten der Gleichungen (127)  $\frac{1}{2} f$  addirt und die Lattenentfernung  $a + \frac{1}{2} f = e$  setzt:

$$e = c h + 1,5 f. \quad (128)$$

Sind die constanten Grössen  $c$  und  $f$  genau bekannt, so kann man nach dieser Gleichung die den Entfernungen  $e$  entsprechenden Latten-

#### 4. Instrumente zum Längenmessen.

tte  $h$  berechnen; kennt man aber  $c$  und  $f$  nicht mit hinreichender Genauigkeit, so können sie dadurch bestimmt werden, dass man mit Sorg- zu zwei genau abgemessenen Entfernungen  $e'$  und  $e''$  gehörigen bechnitte  $h'$  und  $h''$  beobachtet und aus den beiden Gleichungen

$$e' = ch' + 1,5 f$$

$$e'' = ch'' + 1,5 f$$

rtbe von  $c$  und  $f$  sucht. Es bedarf wohl kaum der Erinnerung, gut ist, ziemlich viele Werthe von  $e$  und  $h$  zu messen, aus je zwei ngen  $c$  und  $f$  zu bestimmen und aus den so erhaltenen Werthen so wie aus denen von  $f$  das Mittel zu nehmen, oder die besten von  $c$  und  $f$  durch die Methode der kleinsten Quadrate zu suchen, §. 17, Bd. II ein Beispiel gegeben ist. Wir werden von nun an stanten  $c$  und  $1,5 f = d$  als gegebene Grössen ansehen und sofort fe der Gleichung

$$e = ch + d \quad (129)$$

ilung der Latte näher bestimmen.

essen  $h_1, h_2, h_3, h_4 \dots$  die zu  $e_1, e_2, e_3, e_4 \dots$  gehörigen Latten- tte, so finden die Gleichungen statt:

$$e_1 = ch_1 + d, e_2 = ch_2 + d, e_3 = ch_3 + d, e_4 = ch_4 + d \text{ u. s. f.}$$

man immer die vorhergehende Gleichung von der folgenden ab, so nan die nachstehenden Gleichungen:

$$e_2 - e_1 = c(h_2 - h_1), e_3 - e_2 = c(h_3 - h_2), e_4 - e_3 = c(h_4 - h_3) \text{ u. s. f.}$$

e Längenunterschiede  $e_2 - e_1, e_3 - e_2, e_4 - e_3$  u. s. w. einander so müssen auch die Abschnittsdifferenzen  $h_2 - h_1, h_3 - h_2, h_4 - h_3$  unter sich gleich sein. Hieraus geht hervor, dass die Distanzlatte, wenn die Entfernungen auf die Drehaxe des Fernrohrs bezogen, von einer beliebig zu wählenden Stelle ( $h_1$ ) an gleichmässig ge- werden muss. Die Stelle  $h_1$  entspricht der Entfernung  $e_1$  und diese ung kann so klein als man will angenommen werden. Setzen wir man mit dem Distanzmesser kleinere Längen nicht zu messen pflegt, 50 Fuss, so ist die Latte von dem Punkte an, welcher von 0 um der Gleichung  $50' = ch_1 + d$  sich ergebende Grösse  $h_1$  absteht, rmig zu theilen.

r wollen diese Betrachtungen an einem besonderen Falle näher er-

Die Latten, welche zu den aus dem Ertel'schen Institute hervor- in Reichenbach'schen Distanzmessern gehören, haben für die Ent- von 100 und 1000 Fuss Lattenabschnitte von 1,376 und 14,082 Fuss sh. Mit diesen Daten findet man aus den beiden Gleichungen:

$$100 = 1,376 c + d \text{ und } 1000 = 14,082 c + d$$

stanten  $c = 70,833$  und  $d = 2,55$  Fuss. Da aber  $d = 1,5 f$  und  $c$ , so findet man weiter die Brennweite des Objectivs  $f = 1,70 =$  und den Fadenabstand  $b = 0,024$  bayer.  $= 0^m,007 = 7^{\text{mm}}$ . Für Rede stehende Instrument gilt also die Gleichung

$$e = 70,833 h + 2,55$$

aus der sich, wenn man die Vertheilung von  $e$  bei 50 Fuss beginnen und immer um diese Länge wachsen lässt, folgende Lattenabschnitte  $h$  durch Rechnung ergeben: <sup>1</sup>

Für $e_1 = 50'$	wird	$h_1 = 0',670$ ;
" $e_2 = 100'$	"	$h_2 = 1',376$ ;
" $e_3 = 150'$	"	$h_3 = 2',082$ ;
" $e_4 = 200'$	"	$h_4 = 2',788$ ; u. s. w.

Während demnach

für die ersten	50 Fuss	der Lattenabschnitt	$h_1 = 0',670$ ist, wird
" " zweiten	50	" " "	$h_2 - h_1 = 0',706$ ,
" " dritten	50	" " "	$h_3 - h_2 = 0',706$ ,
" " vierten	50	" " "	$h_4 - h_3 = 0',706$ u. s. w.

Nachdem man also auf die Latte eine Länge von  $0',67$  vom Nullpunkte aufgetragen hat, entspricht von dort an jedes Intervall von  $0,706$  Fuss einer Entfernung von  $50$  Fuss. Trägt man diese Länge  $19$  Mal ab, so erhält die Latte für  $1000$  Fuss Entfernung eine Länge von  $0,67 + 19 \times 0,706 = 14,084$  Fuss. Theilt man die Strecke von  $0',706$  in zehn gleiche Theile, so entspricht ein Lattenintervall von  $7,06$  Decimallinien einem Längenunterschiede von  $5$  Fuss und ein Intervall von  $1,412$  Linien einem Längenunterschiede von  $1$  Fuss. Die hier berechneten Werthe von  $f$ ,  $b$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  . . . bis  $h_{20}$  gehen mit den wirklichen Abmessungen am Fernrohr und an der Latte überall bis auf weniger als ein Tausendel, also so genau zusammen, als man nur wünschen kann.

Die Theilung einer Distanzlatte ist demnach sehr einfach und setzt weder jene weitläufigen Berechnungen noch die mühsamen Versuche voraus, welche man hie und da in Lehrbüchern und Zeitschriften (z. B. Dingler's polytechnischem Journal, Bd. 116, S. 33) angegeben findet. Wenn man nämlich den Punkt der Latte aufsucht, welcher den zur Entfernung  $e = 0$  gehörigen Lattenabschnitt bestimmt, also aus der Gleichung  $0 = ch_0 + d$  hervorgeht und vom Visir-Nullpunkte um

$$h_0 = -\frac{d}{c} = -\frac{2',55}{70,833} = -0',036 \quad (130)$$

absteht, so kann man sagen: von diesem Punkte aus (den man Theilungs-Nullpunkt nennen kann) ist die Distanzlatte durchaus in gleiche Theile zu theilen, oder mit anderen Worten: Die vom Theilungs-Nullpunkte aus gezählten Lattenabschnitte sind den Entfernungen der Latte von der Mitte des Instruments genau proportional.

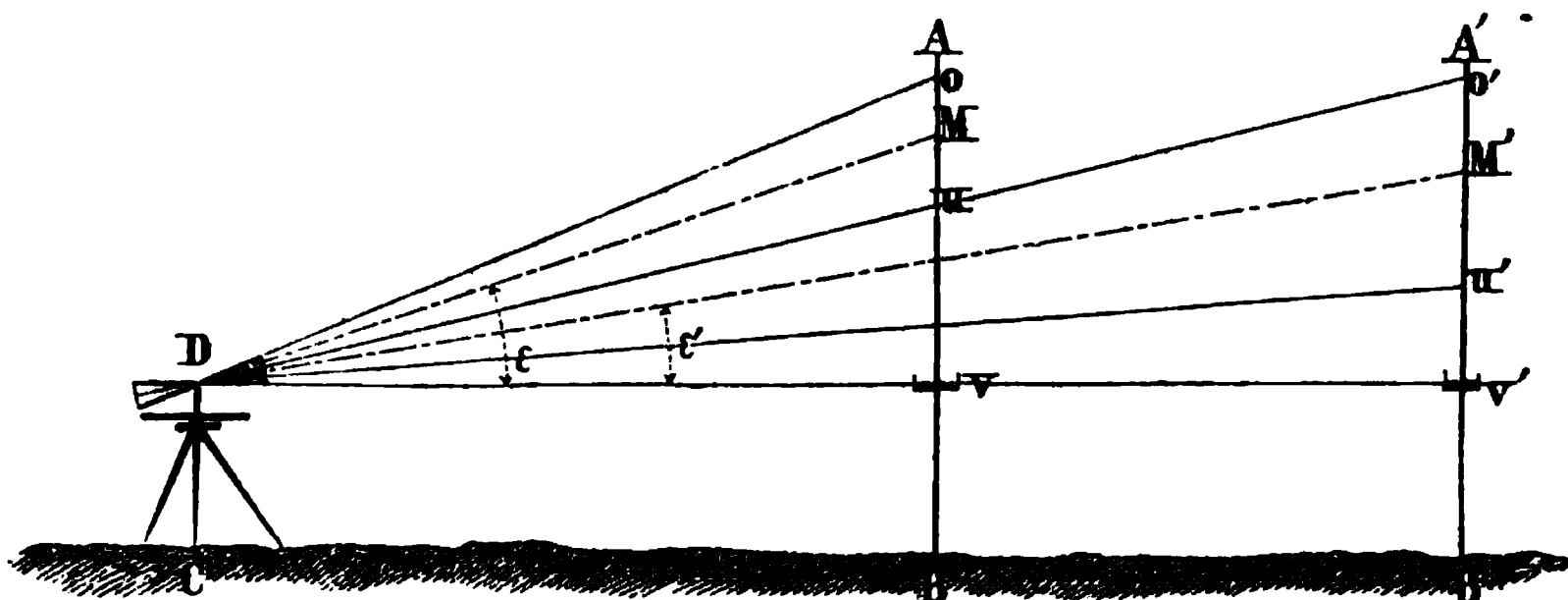
§. 199. Reduction der schiefen Längen. Im vorigen Paragraphen wurde vorausgesetzt, dass die Fernrohraxe wagrecht und die Latte lothrecht, also die eine senkrecht zur anderen gerichtet sei. Diese Forderung ist aber nur selten zu erfüllen; denn selbst auf einem wagrechten Terrain

<sup>1</sup> Für Metermass würde sich die vorstehende Gleichung nur darin ändern, dass man für  $2,55$  Fuss deren Länge in Meter, also  $e = 70,833 h + 0',744$  zu setzen hätte.

muss das Fernrohr so weit erhoben werden als nöthig ist, um das untere Fadenkreuz auf den Nullpunkt der Latte einzustellen. Da man nun durch den Distanzmesser, wenn er zu Messtischaufnahmen dient, die horizontale Entfernung der Lattenfusspunkte von dem durch die Drehaxe des Fernrohrs gehenden Lothe erfahren will, so ist zu entwickeln, in welcher Weise man bei erhobenem oder gesenktem Fernrohre aus der abgelesenen schiefen Länge die gesuchte Horizontalprojection erhält. Zu dem Ende werden wir zunächst ein wagrechtes und dann ein geneigtes Terrain voraussetzen.

1) Die Bodenfläche ist wagrecht, Fig. 255. Der Standpunkt des Instruments befinde sich in C und es sei die Drehaxe D des Fernrohrs lothrecht über C. Mit dem Diopter v, welches in der Regel 5 Fuss über dem Fusspunkte B der Latte steht, wird nach dem Fernrohre D visirt und hierdurch die Latte A B senkrecht zur Linie v D gestellt: von dieser Linie aber darf man, da D C nahezu gleich B v ist, annehmen, dass sie der B C

Fig. 255.



parallel und folglich ihr auch gleich sei. Wird das untere Fadenkreuz auf den Nullpunkt (o) der Latte gerichtet und ist  $ou = h$  der Abschnitt, welchen das obere Fadenkreuz angibt, so kann ohne merklichen Fehler der Schnittpunkt M der optischen Axe DM des Rohrs mit der Latte in der Mitte von ou angenommen werden. Hiernach lässt sich für jede beliebige Ablesung e der Winkel  $\varepsilon$  berechnen, welchen die Fernrohraxe mit dem Horizont oder der Linie v D bildet. Denn da der Abstand l des Nullpunkts o der Latte von der Absehlinie des Diopters v bekannt und  $oM = \frac{1}{2} h$  ist, so wird zunächst

$$(Mv) = l - \frac{1}{2} h = (DM) \sin \varepsilon. \quad (131)$$

Würde die Latte auf MD senkrecht stehen, so wäre die Ablesung bei u gleich der Länge MD; da aber die Latte mit der Senkrechten auf MD den Winkel  $\varepsilon$  einschliesst, so entspricht der Entfernung MD sehr nahe, der Lattenabschnitt  $(ou) \cos \varepsilon = h \cos \varepsilon$ ; es ist somit nach Gleichung (129)

$$(MD) = h \cos \varepsilon + d \quad (132)$$

und wenn man diesen Werth von MD in die vorletzte Gleichung setzt und dieselbe mit 2 multiplicirt:

$$2l - h = 2h \sin \varepsilon \cos \varepsilon + 2d \sin \varepsilon.$$

### Der Reichenbach'sche Distanzmesser.

Da  $\varepsilon$  selbst bei einer Lattenhöhe von 14 Fuss und einer von nur 80 Fuss weniger als  $7^\circ$  beträgt, also stets ein kleiner so kann man annähernd  $2 \sin \varepsilon = \sin 2 \varepsilon$  setzen. Thut man berücksichtigt, dass  $2 \sin \varepsilon \cos \varepsilon = \sin 2 \varepsilon$  ist, so findet man aus Gleichung

$$\sin 2 \varepsilon = \frac{2l - h}{ch + d}.$$

Will man statt des Lattenabschnitts  $h$  lieber die Entfernung  $e$  welche ihm entspricht, so kann man dieses, indem man  $h$  aus der  $e = ch + d$  sucht. Setzt man dabei die constanten Werthe

$$\frac{2lc + d}{c} = m \text{ und } \frac{1}{c} = n,$$

so erhält man schliesslich

$$\sin 2 \varepsilon = \frac{m}{e} - n.$$

Mit Hilfe dieser Formel ist die nachstehende Tafel berechnet die Werthe des Winkels  $\varepsilon$  für gegebene Entfernungen  $e$  oder sprechende Lattenabschnitte  $h$  liefert. Die Constanten  $c$  und  $d$  selben wie im vorigen Paragraphen, und  $l$  ist nach einer Mess Latte = 9,8 Fuss. Da  $c = 70,833$  und  $d = 2,55$ , so wird  $m = n = 0,01412$ , folglich

$$\sin 2 \varepsilon = \frac{19,636}{e} - 0,01412.$$

Ableseung $e$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $e$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $e$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $e$
50'	11° 7'	225'	2° 3'	500'	0° 43'	850'
75'	7° 10'	250'	1° 51'	550'	0° 37'	900'
100'	5° 15'	275'	1° 39'	600'	0° 32'	950'
125'	4° 6'	300'	1° 28'	650'	0° 28'	1000'
150'	3° 25'	350'	1° 12'	700'	0° 24'	1100'
175'	2° 48'	400'	1° 0'	750'	0° 20'	1200'
200'	2° 25'	450'	0° 50'	800'	0° 17'	1300'

2) Die Bodenfläche ist geneigt. In diesem Falle ka strument tiefer oder höher stehen als die Latte; Fig. 256, S. 346 ersten, Fig. 257 den zweiten Fall vor. In beiden Figuren bezeichn zu messende wagrechte Länge  $e'$ ,  $Dd$  das durch die Drehaxe des l gehende Loth,  $AB$  die auf  $vd$  senkrecht stehende Latte,  $dM$  d Axe des Fernrohrs,  $\omega$  deren Neigungswinkel gegen den Horizon der Gradbogen angibt,  $\beta$  den Neigungswinkel des Bodens geger zont,  $ou$  den von den Fadenkreuzen gedeckten Lattenabschnitt.

Nach der vorausgehenden Nummer ist sehr nahe die Länge  $= e \cos^2 \varepsilon$ , und nach den Figuren kann man die Länge  $DB = (d$

da  $DBvd$  nahezu ein Rechteck ist. Somit wird  $DB' = (DB) \cos \beta = e \cos^2 \varepsilon \cos \beta$ , und da der Winkel  $\beta$  in dem ersten Falle (Fig. 256) gleich  $\omega - \varepsilon$  und in dem zweiten Falle (Fig. 257) gleich  $\omega + \varepsilon$  ist, so folgt schliesslich die Horizontalentfernung

$$e' = e \cos^2 \varepsilon \cos (\omega \mp \varepsilon). \quad (135)$$

Fig. 256.

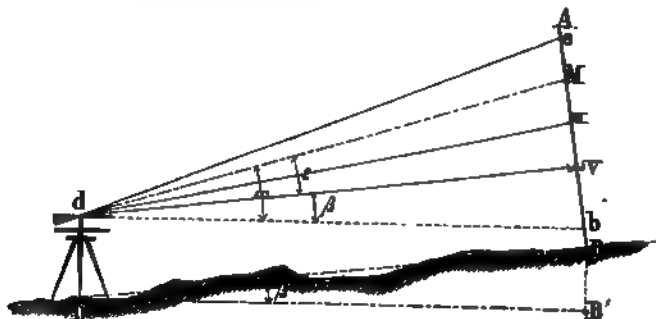
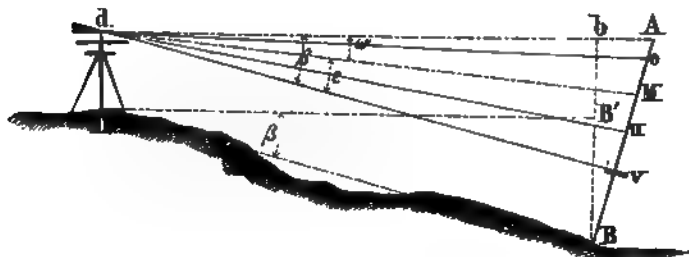


Fig. 257.



Zeigt bei einem erhöhten Standpunkte des Instruments der Gradbogen den Winkel  $\omega = 0$  an, so ist offenbar  $e' = e \cos^2 \varepsilon$ ; und wird bei einem schwach abfallenden Terrain der Winkel  $\omega$  kleiner als  $\varepsilon$ , so hat man  $\cos (\varepsilon - \omega)$  für  $\cos (\omega - \varepsilon)$  zu setzen.

Es würde zu mühsam sein, wenn man auf dem Felde, wo man sehr viele schiefe Längen nach einander zu messen und ihre Horizontalprojectionen in die Aufnahme einzutragen hat, die Bestimmung jeder Projection nach der Formel (135) vornehmen müsste. Darum rechnet man für den Distanzmesser und seine Latte eine Tafel, welche sofort für jede abgelesene Entfernung und Neigung die Reductionsgrösse oder diejenige Länge angibt, welche von der Ablesung abzuziehen ist. Im Anhang zu diesem Buche findet man diejenige Reductionstabelle (Nr. II), welche wir für den Reichenbach'schen Distanzmesser, wie er in der Ertel'schen Werkstätte angefertigt wird, neu berechnet und im Eingange des Anhangs erläutert haben.

§. 200. Prüfung und Berichtigung. Der Reichenbach'sche Distanzmesser ist zunächst in seiner Eigenschaft als Kippregel und hierauf als



längenmessendes Instrument zu prüfen. Als Kippregel hat er dieselben sechs Anforderungen zu erfüllen, welche nach §. 127 an diese gestellt werden. Ob jenen Forderungen genügt wird, ist nach dem eben angeführten Paragraphen zu untersuchen; nur die Bestimmung des Collimationsfehlers erheischt ein etwas abgeändertes Verfahren, weil die Visirlinien des Distanzmessers mit der optischen Axe wohl in einer Ebene aber nicht in einer geraden Linie liegen. Wir geben diese Abänderung in der Aufsuchung des Collimationsfehlers weiter unten (Nr. 3) an und bemerken hier nur noch, dass auch die Berichtigungen, welche an den zum Winkelmessen dienenden Theilen des Distanzmessers nöthig werden, ganz und gar nach §. 127 vorzunehmen sind.

Als Längenmesser ist der Reichenbach'sche Apparat auf folgende Eigenschaften zu prüfen:

- 1) Ob die Distanzlatte richtig getheilt ist,
- 2) ob die beiden Fadenkreuze in Ordnung sind, und
- 3) ob der Verticalkreis keinen Indexfehler hat.

Zu 1. Darf man, wie es hier geschieht, eine hinreichend starke aber nicht zu schwere, aus gut getrocknetem Holze angefertigte, mit einem kurzen Diopter und zwei festen Handgriffen versehene Latte voraussetzen, so ist die weitere Untersuchung dieser Latte sehr einfach. Man misst nämlich die Länge der Latte von der Stelle an, welche einer Entfernung von 50 Fuss entspricht, bis zu einem der unteren Endstriche, der etwa 1000 Fuss Entfernung angehört, berechnet sich hieraus durch eine einfache Division dasjenige Stück ( $i$ ) der Theilung, welches einem Längenunterschiede von 50 Fuss zwischen 50 und 1000 Fuss entspricht, und sieht zu, ob zwischen diesen zwei Stellen die Lattentheilung ganz gleichförmig ist, wie sie sein soll.

Hierauf untersucht man, ob der Lattenabschnitt  $x$  von 0 bis 50 die richtige Länge hat, d. h. nach Gleichung (130) um den Werth  $h_0 = 0'036$  kürzer ist als  $i = 0',706$  und somit  $x = 0',670$ .

Zu. 2. Die Untersuchung der Fadenkreuze hat sich über folgende Punkte zu erstrecken:

a) ob dieselben deutlich gesehen werden. Dieser Punkt wird nach §. 70, Nr. 4 erledigt. Zeigen sich die Fäden bei dem Blicke gegen die Luft nicht als reine schwarze Linien, so darf man den Abstand derselben vom Ocular hier nur durch Bewegung der letzteren, keinesfalls aber durch Verschiebung der Fadenkreuzplatte verändern. Desshalb kann letztere nach (Fig. 251) auch nicht verschoben werden. Ferner ist zu untersuchen:

b) ob die Fadenkreuzpunkte in einer Vertical-Ebene liegen. (Selbstverständlich, wenn der Distanzmesser auf horizontalem Messtische steht.) Diese Forderung ist nöthig, weil mit diesen Fadenkreuzen die Winkelschenkel auf den Messtisch projecirt werden müssen, und die Distanzlatte in der verticalen Projectionsebene steht. Die Untersuchung geschieht

wie bei der Kippregel mit einer Lothlinie; sollte die Linie  $ou$  (Fig. 252) gedreht werden müssen, so hätte dieses mit der Schraube zu geschehen, welche die Fadenplatte an der Ocularröhre festhält. Endlich ist zu untersuchen:

c) ob die Kreuzungspunkte unter sich den richtigen Abstand haben. Dazu ist nöthig, dass man auf festem ebenen Boden eine lange gerade Linie ausstecke und genau abmesse. Von 100 zu 100 Fuss lässt man Pfähle einschlagen, um die Latte in bestimmten Entfernungen vom Instrumente aufstellen zu können. Ueber dem ebenfalls mit einem Pfahle bezeichneten Anfangspunkte der abgemessenen Linie stellt man den Messtisch centrirt und horizontal auf und bezeichnet auf dem Tischblatte durch die Lothgabel die Projection des Anfangspunkts, um den Ständer des Distanzmessers darüber zu bringen. Nun lasse man die Latte auf dem Pfahle Nr. 1, der 100 Fuss entfernt ist, aufstellen und richte selbst das Fernrohr so auf dieselbe, dass man deutlich lesen und keine Parallaxe bemerken kann. Das eine (untere) Fadenkreuz wird auf Null gestellt und am anderen (oberen) abgelesen. Ausser dieser Ablesung macht man noch eine zweite am Verticalkreise und schreibt beide auf. Dasselbe Verfahren wiederholt man vorsichtig für alle abgesteckten Punkte und reducirt alsdann alle abgelesenen Entfernungen mit Hilfe der Reductionstabelle auf den Horizont. Stimmen diese reducirten Entfernungen mit den abgemessenen genau überein oder finden nur ganz geringe bald positive bald negative Abweichungen davon statt, so hat man an dem Fadenmikrometer Nichts zu verbessern; sind aber diese Entfernungen entweder alle kleiner oder alle grösser als die abgemessenen Längen, so muss man in dem ersten Falle den Abstand der Fäden etwas grösser und in dem zweiten Falle etwas kleiner machen, was durch Lüften oder Anziehen der in Fig. 252 mit  $s$  bezeichneten Stellschraube geschieht. Nach dieser Berichtigung. — welche so gemacht wird, dass die Ablesung für einen bestimmten Standpunkt der Latte (z. B. auf dem Pfahle Nr. 5) deren Entfernung genau entspricht — wiederholt man die früheren Aufstellungen, Ablesungen, Reductionen und Correctionen so lange, bis man mit der Leistung des Instruments zufrieden ist.

Zu 3. Das Verfahren, den Collimationsfehler des Reichenbach'schen Distanzmessers zu bestimmen, ist nur wenig von dem im §. 127 beschriebenen, zur Kippregel gehörigen, verschieden. Da man nämlich nicht längs der optischen Axe des Fernrohrs visiren kann, so müssen die zwei Absehlinsen benützt werden, welche die beiden Fadenkreuze gewähren; wir wollen zunächst die obere wählen, d. h. diejenige, welche ausserhalb des Fernrohrs über der optischen Axe liegt. Verfährt man nun mit der Messung gerade so, wie im §. 127 angegeben; behält man ferner dieselben Bezeichnungen wie dort für die Ablesungen ( $w'$  und  $w''$ ) am Gradbogen, den wahren Höhenwinkel ( $w$ ) und den Collimationsfehler ( $c$ ) bei, und bezeichnet man weiter noch den Winkel, welchen die hier benützte obere Visirlinie mit der

optischen Axe des Fernrohrs bildet, mit  $\delta$ , so ist nicht schwer einzusehen, dass folgende zwei Gleichungen richtig sind:

$$\begin{aligned} w' &= w + c - \delta \\ w'' &= w - c + \delta. \end{aligned} \quad (136)^1$$

Hieraus folgt, wenn man die zweite Gleichung von der ersten abzieht,

$$w' - w'' = 2c - 2\delta \quad (137)$$

und wenn man  $\delta$  als bekannt voraussetzt, der Collimationsfehler  $c$ ; will man aber diese Voraussetzung nicht machen, so lässt sich  $\delta$  wegschaffen, indem man mit der unteren Visirlinie dasselbe Verfahren durchführt wie mit der oberen. Bezeichnen für diese Absehlinie  $w_1$  und  $w_2$  die abgelesenen Höhen- und Tiefenwinkel, so gelten für dieselbe folgende zwei Gleichungen:

$$\begin{aligned} w_1 &= w + c + \delta \\ w_2 &= w - c - \delta \end{aligned} \quad (138)^1$$

aus denen auf demselben Wege wie vorhin

$$w_1 - w_2 = 2c + 2\delta \quad (139)$$

erhalten wird. Verbindet man die Gleichungen (137) und (139) durch Addition, so folgt

$$c = \frac{1}{4} (w' - w'' + w_1 - w_2). \quad (140)$$

Hat man den Collimationsfehler des Reichenbach'schen Distanzmessers auf diesem Wege bestimmt, so schaffe man ihn entweder durch Verschiebung des Nonius oder durch doppelte Beobachtung des Verticalwinkels weg, oder aber man bringe ihn gehörig in Rechnung. In beiden Beziehungen hat man die Gleichungen (136) und (138) zu beachten, welche Folgendes lehren:

1) Misst man die Neigung einer Linie an ihren beiden Endpunkten und jedesmal mit einer und derselben Absehlinie, so gibt das arithmetische Mittel aus den beiden Ablesungen den richtigen Neigungswinkel, der Collimationsfehler mag sein, welcher er will. Denn aus jenen Gleichungen folgt durch Addition:

$$w = \frac{1}{2} (w' + w'') \text{ und } w = \frac{1}{2} (w_1 + w_2). \quad (141)$$

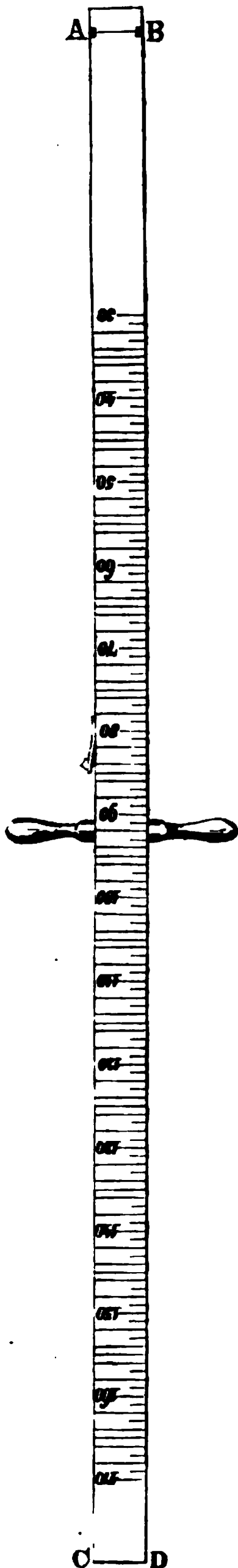
2) Misst man die Neigung einer Linie nur an einem Endpunkte, aber nach einander mit beiden Visirlinien, so ist zu dem arithmetischen Mittel der beiden Ablesungen am Gradbogen der Collimationsfehler zu addiren oder von ihm zu subtrahiren, je nach der Lage dieses Fehlers und des gemessenen Winkels. Denn aus der Verbindung der beiden ersten oder der beiden letzten Gleichungen der Formeln (136) und (138) folgt:

$$w = \frac{1}{2} (w' + w_1) \mp c \text{ und } w = \frac{1}{2} (w'' + w_2) \pm c. \quad (142)$$

§. 201. Distanzlatte für Metermass. Mit Bezug auf die Bemerkung zu §. 197, S. 334 theilen wir hier in Fig. 258 eine für Metermass eingerichtete Latte zum Reichenbach'schen Distanzmesser mit. Dieselbe

<sup>1</sup> Um die Vorstellung nicht zu verwirren, ist hier der Collimationsfehler nicht sofort mit zwei Zeichen  $+$  und  $-$  versehen worden; es bedarf aber kaum der Erinnerung, dass in den beiden ersten Gleichungen (136)  $-c$  für  $+c$  und in den beiden letzten (138)  $+c$  für  $-c$  stehen könnte.

Fig. 258.



kann wie die Fusslatte (Fig. 253) mit Hilfe eines seitwärts (bei 80) angebrachten Diopters in senkrechter Stellung zur Fernrohraxe, aber auch mit Hilfe einer dem Diopter gegenüberstehenden (hier nicht sichtbaren) Dosenlibelle in lothrechter Stellung zum Distanzmessen verwendet werden. Sie hat ganz und gar die Grösse der Fusslatte, so dass der Lattenabschnitt von 0 bis 100, welcher 100 Meter Entfernung der Latte von der Verticalaxe des Instruments entspricht, gleich ist dem Abschnitte auf der Fusslatte (A — 34), welcher zu 340 Fuss Entfernung gehört. Die Fadenkreuzpunkte behalten also bei dieser Einrichtung für die Meterlatte genau den Abstand, welchen sie für die Fusslatte schon haben. Mit der Bemerkung, dass die hier dargestellte Latte auf der Rückseite als Nivellirlatte getheilt ist, gehen wir zu der Frage über: ob bei der Verwendung dieser Latte in senkrechter Stellung zur Fernrohraxe die in §. 199 begründete und im Anhang unter Nr. II mitgetheilte Tabelle zur Reduction der schiefen Entfernungen gebraucht werden kann.

Eine Anzahl Geometer und Mechaniker scheinen der Ansicht zu sein, dass es in dem vorliegenden Falle ausreiche, die alte Längeneinheit (Fuss) mit der neuen (Meter) zu vertauschen; diese Ansicht ist jedoch falsch. Denn da nach der Reductionsformel (135) auf Seite 340

$$e' = e \cos^2 s \cos (\omega \mp \epsilon)$$

ist und in dem Factor von  $e$  der Winkel  $s$ , welcher von einer constanten Grösse (dem Abstände des Diopters  $v$  vom Nullpunkte  $o$  der Latte) abhängt, sogar zweimal vorkommt, so ist klar, dass die Reductionen  $e - e'$ , welche sich hieraus ergeben, nicht einfach durch Division mit der Länge eines Meters in Fuss für Metermass umgewandelt werden können. Diese Umwandlung erfordert durchaus, dass man erst den Winkel  $s$  für Entfernungen, die in Meter ausgedrückt sind, sucht und in oben stehende Formel einsetzt, was aber nichts anderes als eine neue Berechnung der Reductionstabelle nach einer alten Formel ist.

Will man die Meterlatte (oder auch die Fusslatte) in lothrechter Stellung verwenden und bei der Beobachtung wie früher das untere Fadenkreuz des distanzmessenden Fernrohrs auf den Nullpunkt (A) der Latte einstellen, so kann die Reduction der schiefen Entfernung wie folgt geschehen.

Es sei der horizontale Abstand der Punkte B und



Fig. 260

einem von Prof. Jordan vorgeschlagenen und auf Metall, Holz oder Pappe auszuführenden Diagramm (Fig. 260) erfordert, dass man diese Winkel nicht mit einem Transporteur, sondern mit Hilfe ihrer Tangenten auftrage, welche sich aus der leicht zu construirenden Formel berechnen lassen:

$$\cdot \operatorname{tg}^2 \omega. \quad (147)$$

Winkels  $\omega$  sind die zugehörigen Wertenbuch der practischen Geo-

$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
140 6'	0,2512
15 30	0,2773
16 55	0,3041
18 19	0,3310
19 43	0,3584
21 5	0,3855
22 29	0,4139
23 51	0,4421
25 14	0,4713
26 37	0,5011
27 59	0,5313

früher einen Rechenschieber für ung gebracht, und derselbe ist das Jordan'sche Diagramm einschreibung des Wild'schen Re- bach in seiner Schrift: „Der au 1872“ gibt, sei uns hier die r Wild gebrauchte und von Kern chenbach-Ertel'schen nicht bloss ilen gleich ist.)

#### Distanzmesser. <sup>1</sup>

Ertel'schen Universalinstrumente erfüllt, indem es zum Messen

st dieses Instrument unter dem Namen als solches vorzugsweise verwendet wird.



macht das in Rede stehende Instrument zu einem der brauchbarsten geodätischen Apparate. In Fig. 261, S. 347 ist dasselbe perspectivisch abgebildet, in Fig. 262 lothrecht durchschnitten, und es soll hier lediglich in Beziehung auf Distanz- und Winkelmessung näher betrachtet werden.

Fig. 262.

Auf dem Gestelle ( $\pi$ ), das nach Reichenbach wie das in §. 123 S. 177 beschriebene Messtischgestell gebaut ist, steht ein messingener Dreifuss ( $k$ ) mittels dreier Stellschrauben ( $w$ ), deren aufgeschlitzte Muttern durch drei kleinere Schraubchen ( $\delta$ ) nach Erfordernisse etwas gelüftet oder verengt werden können. Ein Haken ( $x$ ) verbindet diesen Dreifuss so mit dem Gestelle, dass er nicht herabfallen, sich aber doch so viel bewegen kann, als die Hori-

zontalstellung des Kreises durch die Fuasschrauben erfordert. Zu dem Ende ist der Haken unten mit einer federnden Spirale ( $y$ ) umwunden, welche einerseits an die Gestellplatte ( $\pi$ ) und andererseits an die am unteren Ende des Hakens befindliche Schraubenmutter ( $\psi$ ) drückt. An dem Dreifusse ist der Horizontalkreis ( $h$ ) durch Speichen und der Zapfen ( $z$ , Fig. 262) für den Alhidadenkreis durch eine Schraube befestigt. Dieser nach oben sich verjüngende stählerne Zapfen steckt in der Mitte des Dreifusses ( $k$ ) und steht zur gemeinsamen Ebene des Horizontal- und Alhidadenkreises senkrecht. Mit Hilfe einer genau gebohrten Büchse ( $t$ ), an der sich die Speichen ( $m$ ) des Alhidadenkreises vereinigen, dreht sich dieser um den Verticalzapfen und in dem Horizontalkreise; durch die Klemmschraube  $q$  kann der Alhidadenkreis angehalten und durch die Mikrometerschraube  $r$  aladann noch etwas vor- oder rückwärts bewegt werden. Der silberne Limbus des Horizontalkreises ist in 2160 gleiche Theile, ein Grad also in 6 Theile getheilt. Die unmittelbare Ablesung geht somit bis zu 10 Minuten. Die beiden auf dem Alhidadenkreise befindlichen Nonien ( $n_1, n_2$ ) stehen sich diametral gegenüber und haben eine Angabe von 10 Sekunden, da 60 Noniustheile 59 Nimbustheilen gleich sind. Der Zweck der Lupen  $l_1$  und  $l_2$  ist bekannt. Die Büchse ( $t$ ), welche den Alhidadenkreis trägt und deren Bewegung um den Hauptzapfen  $z$  durch die zwischen  $v$  und  $u$  sichtbaren Federn und Schrauben ( $s$ ) geregelt wird, erweitert sich nach oben in zwei Arme ( $u, u$ ), denen sich ein halbcylindrisches Lager ( $\lambda$ ) um eine zur Hauptaxe senkrechte und zu den Kreisebenen parallele Axe ( $e e'$ ) drehen und feststellen lässt.



genau cylindrisch ausgedrehten Endstücken ( $i, i$ ) des Lagers ruht und in denselben um seine optische Axe gedreht werden kann, während es sich mit dem Lager um die Axe  $e e'$ , welche die Drehaxe des Fernrohrs heisst und dessen optische Axe senkrecht schneidet, bewegt. Auf den Metallringen der Objectivröhre des Fernrohrs stehen die cylindrischen Füsse einer nach Fig. 24 und §. 42 eingerichteten Röhrenlibelle, welche sich auf dem Fernrohr umsetzen und durch Schliessen ( $s, s$ ) festhalten lässt. An der Drehaxe ( $e e'$ ) des Fernrohrs ist ein Gradbogen ( $v$ ) angebracht, welcher zum Messen verticaler Winkel dient. Derselbe umfasst nur einen Viertelkreis und dient somit bloss zur Messung von Höhen- und Tiefenwinkeln, welche  $45^\circ$  nicht überschreiten. Um mehr als diesen Betrag lässt sich auch das Fernrohr nicht kippen. Indem man diese Beschränkung der Verticalbewegung eintreten liess, hatte man nur den Zweck der Distanzmessung, welche keine grösseren Höhen- oder Tiefenwinkel fordert, und bloss gewöhnliche trigonometrische Höhenmessungen vor Augen. Wollte man in der Messung der Verticalwinkel weiter gehen, so müsste der Träger des Fernrohrs erhöht und dieses selbst zum Durchschlagen eingerichtet werden. Dadurch ginge aber an der Einfachheit des in Rede stehenden Universalinstruments Viel verloren und sein Preis stiege bedeutend. Diese Rücksichten waren für die angedeutete Einrichtung des Verticalkreises entscheidend. Derselbe hat einen silbernen Limbus, welcher unmittelbar in Viertelgrade getheilt ist, und einen Nonius ( $n$ ), der einzelne Minuten angibt. Der Nullpunkt ( $0$ ) liegt in der Mitte des Gradbogens und diese in der Ebene, welche durch die Drehaxe  $e e'$  des Fernrohrs geht und auf dessen optischer Axe senkrecht steht. Der Nonius  $n$  läuft in zwei Körnern ( $\delta, \delta$ ), welche eine geringe Verschiebung desselben am Gradbogen zu dem Zwecke verstaten, den Collimationsfehler zu beseitigen. Die grobe Drehung des Verticalkreises ist möglich, wenn die bei  $e'$  auf die Axe  $e e'$  drückende Schraube ( $\omega$ ) gelüftet wird; ist dagegen diese Schraube angezogen, so kann der Verticalkreis und das Fernrohr sammt der Libelle nur noch mit der Mikrometerschraube  $p$ , welche auf den Hebel  $g$  und die Stahlfeder  $f$  wirkt, fein gedreht werden.

Was das Fernrohr betrifft, so ist dasselbe ein astronomisches mit achromatischem Objectiv von 17 Linien Oeffnung und 18 Zoll Brennweite und einem Huyghens'schen Doppelocular, welches eine 25malige Vergrösserung gewährt. Fig. 263 stellt einen Längenschnitt und Fig. 264 einen Querschnitt dieses Oculars und des in ihm angebrachten Fadenmikrometers vor.

Die beiden Ocularlinsen sind mit  $a$  und  $c$ , die zum Distanzmessen dienenden Horizontalfäden mit  $o$  und  $u$ , und die Fäden des zum Winkelmessen und Nivelliren bestimmten Fadenkreuzes mit  $m$  und  $n$  bezeichnet. Der in der Richtung  $n n'$  ausgespannte Verticalfaden und die drei Horizontalfäden ( $o, m, u$ ) liegen in zwei einander berührenden, auf der optischen

Axe des Fernrohrs senkrecht stehenden Ebenen dergestalt, dass sich die Fäden  $o o$  und  $u u$  unabhängig von den Fäden  $m m$  und  $n n'$  bewegen lassen. Die Bewegung der Fäden  $o o$  und  $u u$  geschieht durch die Schraubchen

Fig. 263.

Fig. 264.

$\sigma$  und  $\sigma'$ , welche auf die Plättchen  $n, n'$  mit den Fäden  $o, u$  drücken, und durch die Stahlfeder  $n m n'$ , welche in  $n$  und  $n'$  mit den eben genannten Plättchen fest verbunden ist und sie auseinander zu ziehen strebt. Man begreift, dass es durch diese Einrichtung möglich ist, nicht nur den Abstand  $o u$  zu berichtigen, sondern auch die Abstände  $o m$  und  $u m$  einander gleich zu machen. Damit das mittlere Fadenkreuz in die optische Axe des Fernrohrs gebracht werden kann, ist die Ocularröhre in zwei Theile getrennt, von denen der eine gegen den anderen in zwei zu einander und zur optischen Axe senkrechten Richtungen verstellt werden kann. Diese Verstellung geschieht durch die vier Schraubchen  $s_1$  bis  $s_4$ , wovon je zwei einander diametral gegenüber stehen. Sollte z. B. die Axe  $xx'$  mit  $a c$  vereinigt werden, so müsste man das Schraubchen  $s_1$  lüften und  $s_2$  anziehen; denn durch dieses Verfahren bewegt sich offenbar der Theil  $e i i' e'$  der Ocularröhre an der Fläche  $e e'$  aufwärts gegen den vorderen Theil  $a e e' a$ . Das Augenglas  $a$  ist hier etwas grösser als an den gewöhnlichen astronomischen Fernrohren, und zwar desswegen, weil es zu gleicher Zeit für die drei Kreuzungspunkte  $o, m, u$  bestimmt ist, während bei der in §. 197 beschriebenen Einrichtung jedes Fadenkreuz sein eigenes Augenglas hat. Wollte man hier auch jeden Kreuzpunkt durch ein besonderes Glas anschauen, so wären deren drei erforderlich, die sich nicht wohl anbringen liessen. Sie sind aber auch nicht nöthig, denn die Erfahrung lehrt, dass man sich in dem vorliegenden Falle recht gut mit einem Augenglase begnügen kann.

Die Distanzlatte, welche zu dem Ertel'schen Universalinstrumente gehört, ist eben so eingerichtet wie die in §. 197 beschriebene, nur ist sie kürzer und mit einer Nivellirlatte vereinigt; es enthält nämlich eine Seite die Theilung für Entfernungen bis zu 600 Fuss und die andere die Theilung für das

wie die frühere, so würde man auch dieselben Reductionsgrößen, welche für jene erste Latte gelten, anwenden können; so aber müssen für eine kürzere Latte neue berechnet werden, weil nach Gleichung 134 der Winkel  $z$ , welcher in den Reductionsformeln vorkommt, von dem gegenseitigen Abstände  $l$  des Nullpunkts der Latte und der Abschnlinie des Diopters abhängt. Die Grösse  $l$  beträgt an der Latte des Ertel'schen Distanzmessers nur 4 Fuss, während sie an der Reichenbach'schen 9,8 Fuss gleich ist.

Aus §. 201 ist klar, dass wenn man die hier beschriebene oder in Metermass abgeänderte Latte beim Aufnehmen in lothrechter Stellung (statt normal zur Fernrohraxe) verwenden würde, besondere Reductionstabellen nicht erforderlich wären, sondern alle Reductionen mit dem daselbst beschriebenen Diagramm ausgeführt werden könnten.

§. 203. Wirkung des Collectivglases. Das Fernrohr des in §. 197 beschriebenen Reichenbach'schen Distanzmessers entbehrt das Collectivglas des Ertel'schen. Man kann deshalb die Gleichung (129), welche die mathematischen Beziehungen zwischen Entfernung, Lattenabschnitt, Brennweite des Objectivs und Fadenabstand für das erstere Distanzfernrohr ausdrückt, nicht auch für das letztere annehmen, ohne durch eine besondere Untersuchung dazu berechtigt zu sein.

Aus der Fig. 263 geht indessen sofort hervor, dass die Collectivlinse  $c$  mit dem Augenglasse  $a$  und dem in der Mitte von beiden stehenden Fadenkreuze  $o$   $u$  ein Huyghens'sches Ocular bildet, von dem wir aus §. 68, S. 97 wissen, dass es ein umgekehrtes Bild  $y'$  des Gegenstands liefert, welches jedoch nur  $\frac{2}{3}$ mal so gross ist als dasjenige Bild  $y$ , welches ohne die Collectivlinse entstehen würde; es ist somit, wenn  $a$  die Entfernung der Latte vom Objectiv,  $f$  dessen Brennweite und  $h$  den beobachteten Lattenabschnitt bezeichnet, die Bildgrösse

$$y' = \frac{2}{3} y = \frac{2}{3} \cdot \frac{f h}{a - f} \quad (148)$$

und demnach auch die Vergrösserung, wie schon auf S. 97 hervorgehoben wurde,

$$v' = \frac{2}{3} v. \quad (149)$$

Nennt man  $b'$  den Abstand der Horizontalfäden  $o$  und  $u$  des Fadenmikrometers, so ist  $b' = 2 y'$  zu setzen, wenn  $h$  der halbe von den Abschnlinien gedeckte Lattenabschnitt ist. Nimmt man ferner, weil es sich bloss um die absolute Grösse des Bilde  $y'$  handelt, von dem Vorzeichen des Ausdrucks für dasselbe Umgang, so erhält man aus der Gleichung  $b' = 2 y'$  die Entfernung

$$a = \frac{2 f}{3 b'} h + f \quad (150)$$

und wenn man den Coefficienten von  $h$  gleich  $c'$  und die Entfernung der Latte von der Drehaxe des Fernrohrs  $a + \frac{1}{2} f = e$  setzt, so wird

$$e = c' h + 1,5 f = c' h + d \quad (151)$$



ist, aus der Gleichung (133) erhalten  
etzt. Unter dieser Annahme wird

$$m = \frac{2)c + d}{c} = 8,036, \quad n = \frac{1}{c} = 0,01412 \quad (154)$$

und die Gleichung zur Berechnung des Winkels  $\varepsilon$ :

$$\sin 2\varepsilon = \frac{8,036}{c} - 0,01412. \quad (155)$$

Danach ist folgende Tabelle gerechnet.

Ableseung $\varepsilon$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $\varepsilon$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $\varepsilon$	Winkel $\varepsilon$	Ableseung $\varepsilon$	Winkel $\varepsilon$
50'	40 13'	175'	00 55'	300'	00 22'	425'	00 8'
75'	20 40'	200'	00 45'	325'	00 18'	450'	00 6'
100'	10 54'	225'	00 37'	350'	00 15'	500'	00 3'
125'	10 26'	250'	00 31'	375'	00 13'	550'	00 1'
150'	10 8'	275'	00 26'	400'	00 10'	600'	00 0'

Auf diese Tabelle und die Formel Nr. 135 stützt sich die zweite mit Nr. III bezeichnete Reductionstabelle, welche für die kleineren Ertel'schen Distanzlatten gilt und dem Anhang beigelegt ist. Es bedarf wohl keines besonderen Nachweises, dass die kleine Latte mit der zugehörigen Reductionstabelle eben so gut für den Reichenbach'schen als die grosse Latte mit ihrer Tabelle für den Ertel'schen Distanzmesser gebraucht werden kann; und eben so ist für sich klar, dass die in §. 201 beschriebene Distanzlatte für Metermass in lothrechter Stellung und unter Benützung des Jordan'schen Diagramms mit dem hier besprochenen Distanzmesser verbunden werden kann.

§. 205. Prüfung und Berichtigung. Die Aufstellung und der Gebrauch des Ertel'schen Universalinstruments als Theodolith stimmen mit jenen des früher beschriebenen einfachen Theodolithen überein; die Verwendung als Distanzmesser ergibt sich aus den Erklärungen des Reichenbach'schen Instruments von selbst, und von dem Gebrauche desselben als Nivellirinstrument ist in dem nächsten Abschnitte die Rede. Es ist daher hier nur noch Einiges über die Prüfung und Berichtigung des Instruments beizufügen. Dabei übergehen wir die Untersuchungen über die Theilung der Latten, Kreise und Nonien, die Excentricität der Alhidade und des Fernrohrs, die senkrechte Lage der Kreise gegen ihre Axen u. s. w., und beschäftigen uns bloss mit denjenigen Prüfungen, welche von Zeit zu Zeit vorzunehmen und darauf zu richten sind:

- 1) ob die Libellenaxe mit der Fernrohraxe parallel läuft;
- 2) ob die Fadenkreuze deutlich gesehen werden;
- 3) ob das mittlere Fadenkreuz in der optischen Axe liegt;
- 4) ob die Drehaxe zur Visirlinie des Fernrohrs senkrecht steht;
- 5) ob der Verticalkreis keinen Collimationsfehler hat, und
- 6) ob die Horizontalfäden des Fadenkreuzes richtig gestellt sind.

Die erste Prüfung und Berichtigung w  
Anleitung vorgenommen. Bei der zweiten  
die freie Luft und dreht das in die Ocular  
lange vor- oder rückwärts, bis man die I  
deutlich sieht. Die dritte Untersuchung ge  
Berichtigung auf die bei der Beschreibung  
durch die Stellschraubchen  $s_1$ ,  $s_2$  und  $s_3$   
Forderung ist erfüllt, wenn die in der  
Visirlinie bei horizontal stehendem Kreise  
und Niederkippen fortwährend deckt; finde  
lässt sich eine Verbesserung der gegenein  
dadurch vornehmen, dass man das Ocular  
die horizontalen Stellschraubchen  $s_3$ ,  $s_4$  (I  
Axe des Fernrohrs etwas verschiebt. Bei  
allerdings ungewiss, ob der Fehler von de  
des Fernrohrs allein, oder bloss von der  
endlich von allen drei Axen zugleich herr  
einfachem Wege Gewissheit erlangen, so m  
eine Libelle stehen oder das Fernrohr zum  
(Dieser letzteren Forderung kann übrigens i  
man das Fernrohr aus seinen Lagern heb  
legt, als ob es lediglich durchgeschlagen  
und Beseitigung des Collimationsfehlers ge  
Nr. 4, S. 246 und die letzte Untersuchung  
trifft, nach §. 200, Nr. 2, S. 341. Hierzu  
man die Abstände  $m_o$  und  $m_u$  der Horizo  
und  $\frac{1}{2} b'$  gleich macht, weil man mane  
grössere Länge, als die Latte bei Benützu  
zu messen. In solchen Fällen benützt m  
und  $u$ , weil, wenn  $b'$  nur halb so gross  
selbe Lattenabschnitt  $h$  nahezu die dopp  
setzt man in den Gleichungen (150) und  
 $a'$  und  $e$  in  $e'$  über und es wird

$$a' = \frac{4f}{3b'} h + f \text{ und } e'$$

Da  $e = e' h + d$ , so verhält sich  $e : e'$   
oder fast wie 1 : 2, da  $d$  im Verhältniss  
klein ist.

§. 206. Constantenbestimmung. D  
der Entfernung  $e$ , dem Lattenabschnitte  
Relation besteht:

$$e = e' h +$$

so kann man aus zusammengehörigen  $M$   
und Lattenabschnitten ( $h$ ) nach Bd. II, §

timung.

ngen  $e_1 = h_1 c + d$ ;  $e_2 = h$   
 n sich darauf beschränken,  
 1. Denn da die Constante  
 ernrohrs plus dem Abstand  
 uments, so lässt sich letztes  
 nehmen wir aber  $d$  als

$c h$

Brennpunkte des Objectivs  
 ie hier geschieht.

ungen, welche Helmert ar  
 Breithaupt gemacht und in  
 ilt hat, so sind zur Berechn  
 rate folgende Data vorhanden

Stattenabschnitt (2. Messung)	Lattenabschnitt h (Mittel)
m	m
1,2661	1,2674
1,2039	1,2070
1,0830	1,0830
0,9637	0,9653
0,8434	0,8451
0,7195	0,7215
0,6002	0,6018
0,4805	0,4805
0,3593	0,3597
0,2390	0,2390
0,1183	0,1185

: Zahl 99,2 ermittelt war,  $s$   
 ung  $x$  heissen und

$+ x$

tlich beobachteten Latten  
 Fehler  $v$  zwischen Berechnu

$h - l) + h x = k + h x.$

de 11 Fehlergleichungen:

$v_6 = - 0,151 + 0,7215 x$

$v_7 = - 0,035 + 0,6018 x$

$v_8 = - 0,078 + 0,4805 x$

$v_9 = - 0,072 + 0,3597 x$

$v_{10} = - 0,055 + 0,2390 x$

$- 0,1183 x.$





## Genauigkeit der Distanzmessung.

Hieraus folgt:

$$x = \frac{0,984}{11} = 0,0895.$$

Mit dem Werthe von  $x$  ergeben sich die Fehler wie folgt

$$\begin{array}{ll} v_1' = + 0,127 & v_6' = - 0,119 \\ v_2' = + 0,132 & v_7' = + 0,031 \\ v_3' = - 0,150 & v_8' = - 0,073 \\ v_4' = + 0,146 & v_9' = - 0,110 \\ v_5' = + 0,232 & v_{10}' = - 0,141 \\ & v_{11}' = - 0,069, \end{array}$$

und hiermit findet man den mittleren Fehler

$$\begin{aligned} m' &= \sqrt{\frac{[v' v']}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,1884}{10}} = \mp 0,137. \\ c &= 99,2 + x = 99,2895 \mp 0,137 \\ e &= 99,29 h + 0,335. \end{aligned}$$

Die Werthe von  $c$  in den beiden Gleichungen (159) und somit um  $99,29 - 99,23 = 0,06$  oder um  $\frac{1}{1700}$  des Wertheschieden. Nimmt man an, dass die Wahrheit zwischen den be-  
setzungen liegt, welche hier bezüglich der Genauigkeit der Feh-  
wurden, so kann man  $c = 99,26$  und  $e = 99,26 h + 0,335$  sei  
Helmert für seinen Distanzmesser auch gethan hat.

**§. 207. Genauigkeit der Distanzmessung.** Kann ma  
Anleitung des §. 206 in jedem besonderen Falle auf Grund v  
tungen den mittleren Fehler in einer Lattenablesung berechne  
doch nicht Jedermanns Sache dergleichen Beobachtungen und  
vorzunehmen: der Practiker begnügt sich vielmehr meist mit A  
die Genauigkeit seiner Instrumente, welche von zuverlässigen  
herrühren, und sucht durch sorgfältige Arbeit ein diesen A  
sprechendes Messungsergebniss zu erhalten.

Der Verfasser hat früher häufig Versuche über die Gen  
Reichenbach'schen Distanzmessers angestellt und in neuester  
einen seiner Assistenten anstellen lassen: Das Ergebniss war i  
diese Genauigkeit durchschnittlich  $\frac{1}{100}$  bis  $\frac{1}{150}$  der gemessenen  
beträgt, während sie von anderen Beobachtern (z. B. Jordan,  
auf  $\frac{1}{150}$  geschätzt wird. Erreicht man aber in der Praxis auc  
letztere Resultat, so erscheint der Reichenbach'sche Distanzme  
ein vorzügliches Hilfsmittel für Terrainaufnahmen, dem daber  
weitere Verbreitung zu wünschen ist.

### Der Stampfer'sche Distanzmesser.

**§. 208.** Dieser Distanzmesser besteht nicht für sich allein.  
mit einem Nivellirinstrumente und einem Horizontalkreise verbu  
also, mit Ausnahme der Messung von Verticalwinkeln, welche

E  
t  
t  
a  
611  
1,  
's  
1.  
8,  
6,  
18

Instrument s  
mit ihr verb  
zwei Stahlfe  
am Rande z  
enthält, die  
 $f_1$  und  $f_2$  z  
Fig. 266 näh  
p vereinigt  
beweglich; c  
Federn vera  
vertical bew  
mit die Fede  
stehen ihre c  
Kreises ein c  
oberen Fläc  
Hilfe eines

Horizontalwi  
dreht sich c  
Zapfen d un  
während de  
Die Klemme  
die Mikrome  
Alhidade ste  
dung. Ders  
zur Alhidade  
bewegen, u  
e t, welche  
noch anzufl  
die Alhidade  
vordere The  
Schraube, v  
lichsten Thei  
Art des Niv

einer ganzen Umdrehung die Scala  $g$  um einen Theilstrich gegen den an der Alhidade angebrachten festen Zeiger  $z$  fortrückt. Dieser Zeiger misst somit die ganzen Umdrehungen der Schraube, während die Trommel  $t$  unmittelbar Hundertel und eine gute Schätzung sogar noch Tausendel einer Umdrehung angibt. Die Röhrenlibelle  $o$  befindet sich in einem Messingkasten  $k$ , welcher an den Träger  $i$ ,  $i$  so angeschraubt ist, dass die Libellenaxe nahezu schon mit der Fernrohraxe parallel läuft und der Rest von Abweichung durch die Stellschraubchen  $a$  und  $c$  leicht beseitigt werden kann. Die beiden Schraubchen  $c$ ,  $c$  dienen zur horizontalen,  $a$  aber zur verticalen Berichtigung. Das Fernrohr ( $d$ ) ist in unserer Zeichnung wegen des beschränkten Raums einer Druckseite etwas verkürzt dargestellt; in

Fig. 267.

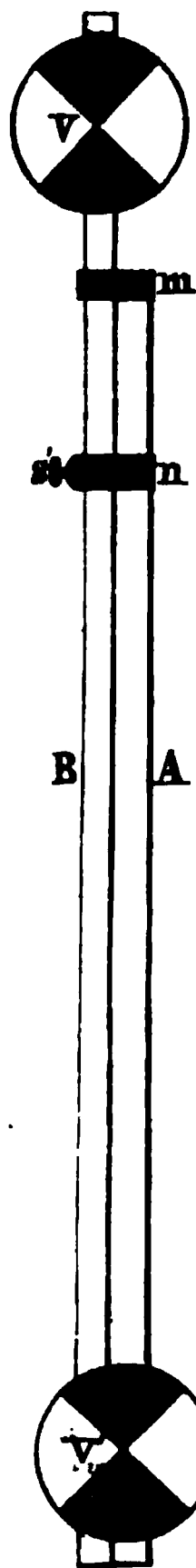
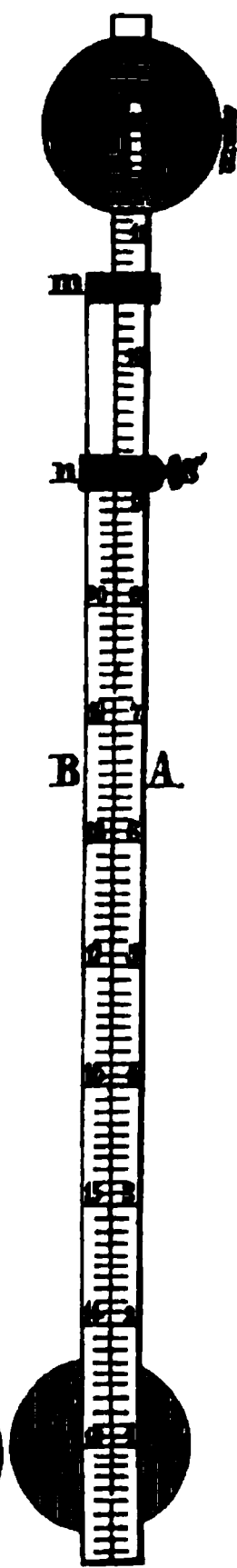


Fig. 268.



Wirklichkeit hat es eine Länge von 13 Pariser Zoll und eine Objectivöffnung von 13 Pariser Linien. Sein Objectiv ist selbstverständlich achromatisch, während das Ocular, abweichend von den meisten Messfernrohren, in der Regel kein astronomisches aus zwei, sondern ein terrestrisches aus vier Linsen ist, zwischen denen sich das einfache Fadenkreuz befindet. Es wird übrigens das Fernrohr, wenn es gewünscht wird, von der mechanischen Werkstätte des polytechnischen Instituts in Wien, welche allein die Anfertigung des Stampfer-Starke'schen Nivellirinstrumentes besorgt, mit einem astronomischen Ocular von 20maliger Vergrößerung versehen. Das terrestrische Ocular vergrößert nur 15mal. Das zum Umlegen eingerichtete Fernrohr ruht mit zwei genau abgedrehten Metallringen in den ebenfalls cylindrisch ausgehöhlten Trägern  $i$ ,  $i$  und wird darin durch zwei drehbare Haken  $s$ ,  $s$  festgehalten. Die Bewegung der Ocularröhre geschieht durch das Getriebe  $\omega$  und die Berichtigung des Fadenkreuzes durch die vier Stellschraubchen  $s_1$  bis  $s_4$ , welche in bekannter Weise auf den Ring wirken, der das Fadenkreuz trägt. An dem hinteren Theile des Trägers  $i$  ist ein Kloben mit einem Stellchräubchen  $v$ , das auf einen Ansatz der Objectivröhre drückt, sichtbar. Diese Vorrichtung hat den Zweck, das Fernrohr in dem Lager so zu richten, dass von den beiden Fäden des Fadenkreuzes der eine genau horizontal und der andere vertical steht.

Die Distanzlatte, welche zu dem Stampfer'schen Instrumente gehört, ist in Fig. 267 von der Vorder- und in Fig. 268 von der Rückseite abgebildet. Dieselbe besteht aus zwei Theilen A und B, welche in zwei Metallhülsen  $m$  und  $n$  an einander auf- und nieder-

geschoben und deren Zieltafeln  $v, v'$  in einem beliebigen, auf  $c$  stabe an der Rückseite abzulesenden Abstände durch eine Klemme festgestellt werden können. Beim Distanzmessen beträgt der Abstand der Mittelpunkte  $v$  und  $v'$  der Zieltafeln gewöhnlich zwei Meter (6 Klafter (6 Fuss)). Da diese Latten gleichzeitig auch zum Nivelliren so wird von ihrer Einrichtung für diesen Zweck im nächsten Abschnitt noch weiter die Rede sein. Es versteht sich von selbst, dass  $v$  eine Latte bloss für das Distanzmessen allein anzufertigen wäre, diese aus einer einzigen Stange mit zwei feststehenden Zielscheiben könnte.

§. 209. Aufstellung und Gebrauch. Wir setzen ein vollkommen richtiges Instrument voraus und zeigen, wie damit Horizontalwinkelfernungen gemessen werden können. Bei der Berichtigung des Instruments hat man an der Scala  $g$  und der Trommel  $t$  den Stand der Meterschraube bemerkt, bei welchem die Fernrohr- und Libellen recht zur Alhidadenaxe stehen. Ist dieser Stand z. B. = 24,96, man die Schraube  $e$  am Kopfe  $u$  so lange, bis der Zeiger nahe an der Zeiger  $z'$  auf 96 steht. Hierauf bringt man, nach Oeffnung der Alhidade durch die Schraube  $q$ , das Fernrohr in die Richtung der Stellschraube ( $w_1$ ) und der ihr entgegenwirkenden Feder ( $f_2$ ) und durch die Stellschraube das Einspielen der Libelle; findet dieses dreht man die Alhidade über die zweite Stellschraube ( $w_2$ ) und die Feder ( $f_1$ ) und verfährt wie vorhin. Spielt auch hier die Libelle ein, man die Alhidade nochmals in die erste und abermals in die zweite Stellung bringen und durch die Schrauben  $w_1$  und  $w_2$  verbessern, was Stande der Libelle allenfalls noch zu verbessern sein sollte. Ist die Libelle nach den zwei Richtungen  $w_1 f_2, w_2 f_1$  ein, so steht der Fernrohr horizontal und es kann ein Horizontalwinkel, dessen Schenkel keine Neigung gegen den Horizont haben (das Fernrohr lässt sich nur 8 Grad vertical bewegen) gemessen werden, wenn man erst auf einen Schenkel einstellt, den Nonius abliest, dasselbe Verfahren auf den anderen Schenkel wiederholt und den Unterschied beider Ablesungen bestimmt. Die Entfernung eines Punktes  $C$  von  $B$  gemessen werden, so stelle

Fig. 269.



Instrument (nach Fig. 269) centrisch über  $C$  und die Latte lothrecht auf, bringe das Fernrohr in die Richtung  $CB$ , verstelle das Ocular

man die Zieltafeln bestmöglichst sehen kann, visire hierauf die obere Tafel (v) an, lese den Stand (o) der Schraube ab, drehe dann das Fernrohr mit der Mikrometerschraube so weit herab, dass das Fadenkreuz die untere Zieltafel (v') in der Mitte trifft, lese wieder den Stand (u) der Schraube ab, stelle endlich auch das Fernrohr horizontal und bemerke für diese Richtung den Stand (h) der Mikrometerschraube. Stellt man die Differenz  $o - u$  der beiden ersten Ablesungen her und sucht die zu derselben gehörige Länge in der Tafel Nr. V, so gibt diese die Entfernung der Drehaxe des Fernrohrs von der Mitte der Latte an, während die Reductionstabelle Nr. VII mit Hilfe von  $o - u$  und  $h - u$  die Grösse liefert, welche wegen der schiefen Lage der gemessenen Länge von dieser abzuziehen ist. Die Einrichtung und der Gebrauch dieser Tafeln ist in dem folgenden Paragraph begründet und im Anhang näher erklärt.

§. 210. Theorie. Nach §. 80 ist der Winkel  $\alpha$ , welchen die optische Axe des Fernrohrs zwischen den auf die obere und untere Zielscheibe gerichteten Absehliesen  $Dv$  und  $Dv'$  durchlaufen hat, der Anzahl  $o - u$  der Schraubengänge proportional, und da der Winkel  $\alpha$  unter allen Verhältnissen klein ist, so kann man ohne merklichen Fehler

$$\tan \alpha = c (o - u)$$

setzen, wenn man unter  $c$  eine Constante versteht, welche der Einrichtung des Instruments und der Höhe der Schraubengänge zukommt. Bedeutet ferner  $d$  den constanten Abstand  $vv'$  der beiden Zieltafeln und  $e$  die Entfernung  $DM$ , so ist bei der geringen Neigung der Latte gegen die Linie  $DM$  und bei der Kleinheit des Winkels  $\alpha$  genau genug

$$e = \frac{d}{\tan \alpha} = \frac{d}{c (o - u)}.$$

Mit Hilfe dieser Gleichung kann die Constante  $c$  bestimmt werden, wenn man auf wagrechtem Boden eine Länge  $e$  genau abmisst, in dem einen Endpunkte das Instrument, in dem anderen die Latte aufstellt, die Beobachtung auf den Zieltafeln wie im vorigen Paragraph macht und die Differenz  $o - u$  und den Lattenabschnitt  $d$  sehr genau bestimmt. Aus mehreren Beobachtungen erhält man den Werth von

$$\frac{1}{c} = \frac{e}{d} (o - u) = k$$

und wenn man diesen in die vorletzte Gleichung einführt, so wird

$$e = \frac{k d}{o - u}.$$

Für alle zum Distanzmessen eingerichteten Nivellirinstrumente von Stampfer und Starke ist die Constante  $k = 324$  und daher

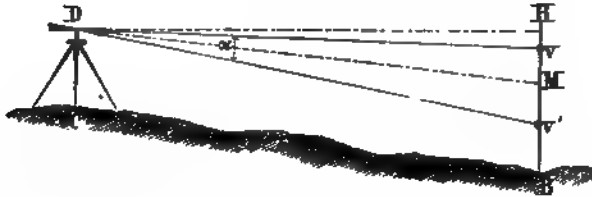
$$e = \frac{324}{o - u}.$$

Der Coefficient von  $d$  ist es, welcher, von Hundertel zu Hundertel Schraubengang fortschreitend, in der Tabelle Nr. V enthalten ist. Man findet also dort für jeden Stand der Schraube, d. h. für jede Differenz  $o - u$ , die Ent-

1 sei; also in Klaftern, wenn  $d$  in Klaftern, und in Metern, wenn  $d$  in Metern ist. Würde z. B.  $d = 2$  Meter sein, so hätte man den Coefficienten von  $d$ , welchen die Tabelle für einen bestimmten Werth von  $\alpha$  —  $u$  liefert, mit 2 zu multipliciren, um sofort  $e$  in Meter zu erhalten.

Will man die Voraussetzung, dass der Winkel  $\alpha$  der Anzahl der Schraubengänge proportional sei, da sie ungenau ist, nicht gelten lassen, so kann man mit Hilfe der Gleichung Nr. 82 für die Entfernung  $e$  eine Formel aufstellen, welche genauer ist als die vorhergehende. Setzt man nämlich in Fig. 270 den Abstand  $v'H$  der unteren Zieltafel von der Hori-

Fig. 270.



zontalen  $DH$ , welche durch die Drehaxe des Fernrohrs geht, gleich  $z$ , die Horizontalprojection von  $CB = DH = e'$ , den Winkel  $\angle DCH = \beta$ , und behalten  $\alpha$  und  $d$  ihre frühere Bedeutung: so ist offenbar

$$z = e' \tan \beta \quad \text{und} \quad z - d = e' \tan (\beta - \alpha).$$

Hieraus folgt

$$z = d \frac{\sin \beta \cos (\beta - \alpha)}{\sin \alpha} \quad \text{und} \quad e' = d \frac{\cos \beta \cos (\beta - \alpha)}{\sin \alpha}.$$

Hätte man dieser Entwicklung die Fig. 269 zu Grunde gelegt und berücksichtigt, dass die Linie  $v'H$  und folglich auch der Winkel  $\beta$  eine der vorigen entgegengesetzte Lage hat, also negativ zu nehmen ist, so würde

$$z = -d \frac{\sin \beta \cos (\beta + \alpha)}{\sin \alpha} \quad \text{und} \quad e' = d \frac{\cos \beta \cos (\beta + \alpha)}{\sin \alpha} \quad (161)$$

erhalten worden sein, zwei Ausdrücke, die sich sofort aus den zwei letzten ergeben, wenn man  $-\beta$  für  $+\beta$  setzt und berücksichtigt, dass allgemein  $\cos(-x) = \cos x$  und  $\sin(-x) = -\sin x$  ist.

Um die Horizontalprojection  $e'$  der Linie  $e$  nicht aus dem eben dafür aufgestellten Ausdrucke, der völlig genau ist, berechnen zu müssen, entwickelt Prof. Stampfer für  $e'$  und  $z$  Näherungsausdrücke, indem er statt der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  ihre Bögen einführt, die Sinus und Cosinusreihen bis zu den dritten Potenzen dieser Bögen benützt und schliesslich die Werthe von  $\alpha$  und  $\beta$  nach den in §. 80 aufgestellten Gleichungen bestimmt. Hierdurch und mit Rücksicht auf die Constanten, welche für die in der Werkstätte des Wiener polytechnischen Instituts angefertigten Instrumente gelten, gelangt er am Ende zu den Ausdrücken:

$$z = d \left[ \frac{h - u}{o - u} - 0,00011 \frac{(h - u)^2}{o - u} - 0,00000635 \frac{(h - u)^3}{o - u} \right] \quad (162)$$

$$e' = d \left[ \frac{324}{o - u} + 0,0356 \left( \frac{o + u - 2m}{o - u} \right) - 0,0031 \frac{(h - u)^2}{o - u} \right] \quad (163)$$

in welchen alle Grössen bekannte Bedeutungen haben, bis auf die Zahl  $m$ , welche für jedes Instrument aus der Gleichung

$$m = \frac{a - 637}{2b} \quad (164)$$

zu bestimmen ist. Die Buchstaben  $a$  und  $b$  sind die constanten Werthe, welche nach §. 80 bestimmt werden, und  $m$  ist nichts Anderes als die Ablesung der Scala  $g$  und der Trommel  $t$ , bei welcher ein ganzer Schraubengang gerade einem Winkel von 637 Secunden entspricht.

Die Horizontalprojection  $e'$  wird aus drei von Prof. Stampfer berechneten und im Anhang unter Nr. V bis VII mitgetheilten Tabellen erhalten, von denen

die erste das Glied  $\frac{324}{o - u}$ , die zweite  $0,0356 \frac{(o + u - 2m)}{o - u}$   
und die dritte  $0,0031 \frac{(h - u)^2}{o - u}$

liefert. Will man die Verbesserungen wegen der Schraubengänge nicht vornehmen, so bleibt das zweite Glied, und braucht die gemessene Länge nicht auf den Horizont reducirt zu werden, das dritte Glied weg.

§. 211. Genauigkeit. Nimmt man mit Stampfer an, dass ein Fehler in der Längenmessung mit seinem Instrumente nur dadurch entstehen kann, dass die Anzahl der Schraubengänge  $o - u = v$  um eine kleine Grösse  $\Delta v$  fehlerhaft bestimmt ist, und man legt der Berechnung des Fehlers in der Länge  $e$  nur den einfachen Ausdruck zu Grunde, nach welchem

$$o - u = 324 \frac{d}{e}$$

ist, so wird die Aenderung in  $e$ , welche wir  $\Delta e$  nennen wollen, nach den Regeln der Differentialrechnung erhalten, wenn man  $x$  dem Differentiale von  $(324d)$   $e'$  gleich setzt und aus dieser Gleichung das Differentiale von  $e = \Delta e$  sucht. Hierdurch findet man, ohne Rücksicht auf das Vorzeichen,

$$\Delta e = \frac{e^2 \Delta v}{324 d} = k e^2. \quad (165)$$

Demnach wächst der Fehler mit dem Quadrat der Entfernung und umgekehrt mit der Grösse des Lattenabschnitts.

Unter der Voraussetzung, dass der Fehler  $\Delta v = 0,003$  Schraubengang angenommen werden könne, berechnet Stampfer eine Tabelle über die Genauigkeit seines Distanzmessers bei verschiedenen Entfernungen und bei zwei Lattenabschnitten von 1 und  $2\frac{1}{2}$  Klafter Höhe, und vergleicht diese Genauigkeit mit jener der Kettenmessung, welche er gleich 1 : 1000 annimmt. Wir theilen diese Tabelle nachstehend mit, indem wir alle Grössen in Fuss ausdrücken und die Bemerkung beifügen, dass die Genauigkeits-



versuche, welche wir mit einem vorzüglich gearbeiteten Wiener Instrumente anstellten, meist etwas hinter der Rechnung zurückblieben, so lange  $\Delta v = 0,003$  angenommen wurde. Unseren Messungen würde  $\Delta v = 0,005$  oder für  $d = 1$  Klafter  $k = 0,000015$  besser entsprechen. Versuche, welche in neuester Zeit (1873) ein sehr geübter Assistent der polytechnischen Schule zu München mit demselben Stampfer'schen Instrumente, das Verfasser schon vor 18 Jahren benützt hat, anstellte, haben  $k = 0,000022$  und mithin  $\Delta v = 0,007$  ergeben.

Entfernung (e) in Fuss.	Fehler in der Entfernung e.		Fehler einer gewöhnlichen Kettenmessung.
	Lattenhöhe 6 Fuss.	Lattenhöhe 15 Fuss.	
120	0',025	0',006	0',12
180	0,048	0,024	0,18
240	0,08	0,04	0,24
360	0,20	0,08	0,36
480	0,36	0,15	0,48
600	0,54	0,22	0,60
900	1,26	0,48	0,90
1200	2,22	0,90	1,20
1500	3,48	1,38	1,50
1800	5,04	2,04	1,80
2400	8,94	3,60	2,40

**§. 212. Prüfung und Berichtigung.** Um das Stampfer'sche Instrument mit Zuverlässigkeit als Distanz-, Winkel- und Höhenmesser gebrauchen zu können, muss man vorher folgende Untersuchungen desselben vorgenommen haben:

- 1) ob das Fadenkreuz die richtige Lage hat;
- 2) ob die Libellenaxe mit der Absehnlinie parallel läuft;
- 3) ob die Ringdurchmesser des Fernrohrs genau gleich gross sind;
- 4) bei welchem Stande der beiden Zeiger an der Mikrometerschraube die Libellenaxe senkrecht steht zur Alhidadenaxe;
- 5) ob der Kreis und sein Nonius richtig getheilt sind; und
- 6) ob die Mikrometerschraube allen Anforderungen entspricht.

Zu 1. Die richtige Lage des Fadenkreuzes erfordert, dass es deutlich gesehen werde, dass sein Schnittpunkt in der vereinigten optischen und mechanischen Axe des Fernrohrs liege, und dass von den beiden Fäden der eine wagrecht und der andere lothrecht gerichtet sei. Die beiden ersten Theile dieser Untersuchung sind aus §. 70 bekannt, und was den dritten betrifft, so erfährt man auf folgende Weise, ob der Horizontalfaden wagrecht liegt. Man stelle das Instrument nach §. 209 horizontal, richte das Fernrohr auf einen scharf begrenzten und gut beleuchteten fernen Punkt

und stelle mit der Mikrometerschraube den Horizontalfaden genau darauf ein. Ohne an dem Fernrohre etwas zu ändern, drehe man hierauf die Alhidade so viel nach rechts und links, dass der anvisirte Punkt an beide Grenzen des Gesichtsfelds kommt, und sehe zu, ob der Faden diesen Punkt fortwährend deckt oder nicht. Findet Deckung statt, so ist der Faden horizontal, ausserdem hat man aber die Schraube *v*, welche auf einen mit dem Fernrohre verbundenen stählernen Zapfen drückt, in ihrer Mutter so weit heraus oder hinein zu drehen, bis die verlangte Deckung eintritt. Da der zweite Faden auf dem ersten senkrecht steht, so ist jener vertical, wenn dieser horizontal ist. Durch Anvisiren eines in der Ferne aufgehängten und zur Ruhe gekommenen Senkels kann man sich übrigens auch noch von der richtigen Lage des Verticalfadens überzeugen, obschon eine Verbesserung desselben nach Richtigstellung des Horizontalfadens nicht mehr möglich ist, es sei denn, dass man ihn neu aufspannt. Dass diese letztere Untersuchung die zweite, dritte und vierte als geschehen voraussetzt, bedarf kaum der Erwähnung.

Zu 2. Wie man prüft, ob die Fernrohr- und Libellenaxe in dem Falle zu einander parallel sind, wo die Libelle an den Trägern des Fernrohrs feststeht, dieses selbst aber umgesetzt werden kann, ist aus Folgendem zu entnehmen. Man stelle etwa in einer Entfernung von 50 oder 60 Meter eine gleichtheilige Latte lothrecht auf, richte das Fernrohr nach ihr, verschiebe die Ocularröhre so lange, bis man die Theilung deutlich ablesen kann- und keine Parallaxe des Fadenkreuzes mehr stattfindet, stelle hierauf die Libelle durch die Mikrometerschraube *e* horizontal und lese schliesslich den Theilstrich ab, welchen das Fadenkreuz deckt. Nun setze man das Fernrohr in seinem Lager um, drehe hierauf die Alhidade um  $180^0$ , so dass das Fernrohr wieder auf die Latte gerichtet ist, stelle abermals die Libelle horizontal und lese zum zweitenmale ab. Zeigt sich, dass die beiden Ablesungen, welche man mit umgesetztem Fernrohre und bei horizontalem Stande der Libelle auf einer gleichgetheilten und lothrecht stehenden Latte gemacht hat, von einander abweichen, so verbessert man die Hälfte der Abweichung an der Mikrometerschraube *e* und die andere Hälfte an der Stellschraube *a*. Diese Verbesserungen werden so oft wiederholt, bis zwei gleiche Ablesungen stattfinden.

Zu 3. Die vorhergehende Untersuchung setzt voraus, dass die beiden Ringdurchmesser des Fernrohrs genau gleich gross sind; denn wären sie es nicht, so hätte man keineswegs, wie es die Absicht war, die Visirlinie des Fernrohrs, sondern nur die unterste Seite des Kegels, welcher durch die ungleichen Ringe bestimmt ist und womit das Fernrohr in seinem Lager ruht, mit der Libellenaxe parallel gemacht. Um sich nun zu überzeugen, ob die Ringdurchmesser gleich oder ungleich sind, führe man erst das zu Nr. 2 gehörige Verfahren genau durch und hierauf wende man die in §. 150 Nr. 1 beschriebene Prüfungsmethode an. Wird hierbei die dort auf S. 243 mit *y* bezeichnete Grösse null, so sind die Ringdurchmesser gleich, ausser-

dem aber sind sie ungleich. Ein solcher Fehler kann wohl erkannt und unschädlich gemacht, aber an den Ringen selbst nicht verbessert werden. Wie gross sein Einfluss namentlich beim Nivelliren ist und welche Mittel es gibt, diesen Einfluss zu beseitigen, wird im nächsten Abschnitte gelehrt.

Zu 4. Um zu erfahren, ob die Libellenaxe senkrecht steht zur Alhidadenaxe, braucht man nur durch Drehung der Alhidade die Libelle in die Richtung einer der Stellschrauben ( $w_1$ ) und der ihr zugehörigen Feder ( $f_2$ ) zu stellen, durch die Mikrometerschraube  $e$  die Libelle zum Einspielen zu bringen, hierauf die Alhidade um  $180^\circ$  zu drehen und zuzusehen, ob die Libelle wieder einspielt oder nicht. Findet das Einspielen statt, so steht nach §. 150 Nr. 3 offenbar die Alhidadenaxe senkrecht zur Libellenaxe; findet es aber nicht statt, so zeigt der Ausschlag der Luftblase den doppelten Fehler in der Lage dieser Axen an und ist derselbe halb an der Mikrometerschraube  $e$  und halb an der Stellschraube  $w_1$  zu verbessern (§. 150, Nr. 3). Hat man es durch diese Verbesserungen dahin gebracht, dass die Libelle in zwei entgegengesetzten Lagen genau einspielt, so kann man an der Scala  $g$  und an der Trommel  $t$  den Stand der Mikrometerschraube ablesen, bei welchem die Libellen- und Alhidadenaxe senkrecht zu einander sind. Auf diesen Stand wird die Schraube jedesmal gebracht, wenn das Instrument horizontal gestellt werden soll. Hierdurch bewirkt man dasselbe, was an einem Theodolithen mit Verticalkreis geschieht, wenn man nach Beseitigung des Collimationsfehlers und vor der Horizontalstellung die Nullpunkte des Verticalkreises und seines Nonius auf einander stellt.

Zu 5 und 6. Für die Untersuchung der Theilung des Kreises und seines Nonius gelten die in §. 151 enthaltenen Bemerkungen, und was die Prüfung der Schraube betrifft, so genügt es, wenn man mehrere genau bekannte Winkel mit ihr misst und sich überzeugt, dass sie diese Winkel richtig angibt. Solche Winkel erhält man aber dadurch, dass man mit Messlatten eine Länge von etwa 30 bis 50 Meter so genau als möglich abmisst, an dem einen Ende eine fein getheilte Latte lothrecht aufstellt, und von dem anderen Ende aus das Fernrohr mittels der Schraube über die ganze Latte führt, indem man das Fadenkreuz von circa  $0,^m3$  zu  $0,^m3$  genau auf die betreffenden Theilstriche einstellt. Aus den bekannten Entfernungen der abgelesenen Striche unter sich und aus der gemessenen Entfernung der Latte von der Drehaxe des Fernrohrs berechnet man die gemessenen Winkel trigonometrisch und aus der Ablesung an der Schraube mit Hilfe der Gleichung (82) algebraisch. Die Beobachtungen mit der Schraube wird man mehrmals wiederholen, um die Fehler im Einstellen des Fadenkreuzes dadurch möglichst auszugleichen, dass man aus allen nach Gl. 82 berechneten Winkeln das arithmetische Mittel nimmt.

---

## Fünfter A

### Instrumente zum

§. 213. Die Höhe eines Punktes dem wahren Horizont eines anderen F teten Winkel- und Längen-Messinstr werden, dass man die gesuchte Höh ebenen Dreiecke verbindet, darin eine hieraus die Höhe berechnet. Dergleic und nothwendig sie in gewissen Fälle anwenden, weil sie manchmal zu um ungenau werden. Es muss daher Vorrichtungen geben, durch welche die Höhenunterschiede zweier Punkte in den dazu geeigneten Fällen auf einfacherem Wege unmittelbar bestimmt werden können. Solche Vorrichtungen sind die Nivellirinstrumente und die Barometer, deren Betrachtung den Inhalt dieses Abschnitts ausmacht. Man wendet zwar auch die Thermometer zu Höhenmessungen an, indem man aus der beobachteten Temperatur des siedenden Wassers den auf letzteres ausgeübten Luftdruck bestimmt und hiernach die Höhe des Beobachtungsorts nach der Barometerformel berechnet; da jedoch dieses Verfahren weit ungenauer als die Messung mit dem Barometer ist, übergehen wir es hier.

### Nivellirinstrumente.

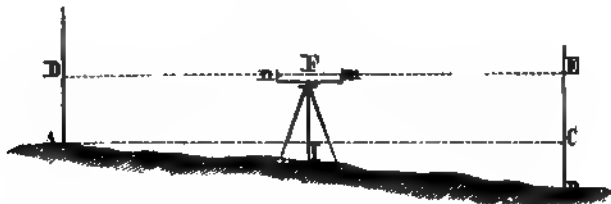
§. 214. Die Nivellirinstrumente dienen zunächst nur zur Ermittlung kleiner Höhenunterschiede. Dabei dürfen die zwei Punkte, deren lothrechten Abstand ihrer Horizonte man wissen will, nicht sehr weit von einander entfernt sein. Indem man aber eine grössere Reihe von Punkten in der Art verbindet, dass man immer den Höhenunterschied zweier auf einander folgenden Punkte sucht, kann man durch Nivelliren mittelbar auch grosse Höhenunterschiede sehr weit entfernter Punkte messen.

Das Nivelliren ist zu keiner Zeit so wichtig gewesen als jetzt, wo man sich überall mit dem Baue von Eisenbahnen, Strassen, Canälen, Wasserleitungen, mit der Verbesserung von Flüssen, Entwässerung von Sümpfen und Mooren, Bewässerung von Feldern und Wiesen etc. beschäftigt und ungeheuere Summen darauf verwendet; es ist aber auch niemals früher in solcher Vollkommenheit ausgeführt worden, wie gegenwärtig, wo es selbst minder Geübten möglich ist, den Höhenunterschied zweier Punkte, welche 1000 Meter von einander entfernt sind, auf 4 bis 5 Millimeter richtig zu bestimmen, während sehr geübte Ingenieure ohne Schwierigkeit ihren

Nivellements eine wenigstens doppelt so grosse Genauigkeit verleihen können. Diese Genauigkeit der Messung verdanken wir den vollkommeneren Nivellirinstrumenten, welche alle besseren mechanischen Werkstätten liefern. Für viele technische und ökonomische Zwecke ist aber begreiflicherweise eine so grosse Genauigkeit wie die angeführte nicht nöthig; es werden daher neben den feinsten Nivellirinstrumenten auch andere von geringerer Leistungsfähigkeit, und ausser den genauesten Nivellirmethoden (für Präcisionsnivellements) auch weniger strenge Methoden des Nivellirens angewendet.

Die allgemeinste Anforderung, welche ein Nivellirinstrument zu befriedigen hat, besteht in der Gewährung einer wagrechten Absehnlinie, welche auf einen lothrecht gestellten Massstab gerichtet werden kann. Denkt man sich nämlich in einem Punkte A einen solchen Massstab, der hier eine Nivellirlatte heisst, lothrecht aufgestellt und von der horizontalen Visirlinie  $mn$  des Instruments (I) in dem Punkte D getroffen, so bezeichnet diese Absehnlinie die Höhe AD des Punktes D über A (die Visir- oder Lattenhöhe von A); und denkt man sich weiter in derselben Horizontalebene, worin D, n, m liegen, die Visirlinie  $nm$  auf die in B stehende Latte ge-

Fig. 271



richtet und diese in E getroffen, so erhält man auch die Höhe BE des Punktes E über B (die Visirhöhe von B). Nun ist aber, wenn AC der Horizont von A ist,  $AC \parallel DE$  und daher der Höhenunterschied zwischen A und B gleich  $BC = BE - AD$ . Man findet folglich durch das hier im Allgemeinen angedeutete Verfahren des Nivellirens den Höhenunterschied zweier Punkte mit Hilfe einer horizontalen Absehnlinie und einer Nivellirlatte.

Zur Herstellung wagrechter Absehnlinien bietet uns die Natur drei Wege dar: erstens das Loth in Verbindung mit einer zu ihm senkrechten Geraden, zweitens den Stand der tropfbaren Flüssigkeiten in communicirenden Röhren und drittens die Vereinigung einer tropfbaren und elastischen Flüssigkeit in einer Röhre oder die Libellen. Hiernach kann man die Nivellirwerkzeuge in Pendel-, Röhren- und Libelleninstrumente einteilen. Jede dieser drei Instrumenten-Gattungen hat verschiedene Arten, von denen wir die gebräuchlichsten beschreiben werden, nachdem zuvor die Nivellirlatten betrachtet worden sind.



auf halbe Linien macht. Bei dem Stande, welchen die Zieltafel in Fig. 273 hat, würde die abgelesene Visirhöhe 4 Fuss 3 Zoll 8,5 Linien betragen.

Kommt der Fall vor, dass eine Stange nicht mehr hinreicht, die Zieltafel in die Höhe der Visirlinie zu bringen, so verbindet man auf die in den Fig. 274 und 275 angedeutete Weise mittels der Metallhülsen m, n eine zweite Stange B mit der ersten A und schiebt diese mit der auf einen bestimmten Theilstrich gestellten Zieltafel so weit an B auf oder ab, bis die Visirlinie auf die Mitte dieser Tafel trifft. Alsdann stellt man durch die Druckschraube s' die beiden Stangen an einander fest. Die Ablesung wird von dem Gehilfen an dem Fusse p der Stange A gemacht, welche deshalb unten mit Messing beschlagen und daselbst auf einen Zoll Länge in Linien getheilt ist. Damit diese Ablesung die richtige Höhe der Zieltafel über dem Boden gibt, muss nothwendig auf der Stange B die Theilung von A fortgesetzt und die Zieltafel der Stange A auf den Theilstrich gestellt sein, welcher dem Fusspunkte der Stange B entspricht. In Fig. 275 steht der Zeiger an A auf 12 Fuss, und von dieser Zahl an geht die Bezeichnung von B. Die Ablesung würde in dem vorliegenden Falle 17 Fuss 8 Zoll 7,5 Linien betragen.

An den Stampfer'schen Nivellirlatten ist nach unserer Erfahrung ihr geringes Gewicht sowie der Mangel von Hilfsmitteln zum lothrechten Aufstellen und Festhalten in dieser Stellung zu tadeln, zumal diese Stellung einen nicht unwesentlichen Einfluss sowohl auf das Nivelliren als auf das Distanzmessen hat. Diesem Uebelstande wäre leicht abzuhelpen, und er würde ohne Zweifel sofort beseitigt werden, wenn man die Verfertiger der Stampfer'schen Nivellirinstrumente von verschiedenen Seiten her auf diese Mängel aufmerksam machen wollte.

§. 217. **Scalenlatten.** Diese Latten sind wenig von einander verschieden und darum wird es genügen, wenn wir eine einzige

Fig. 274.

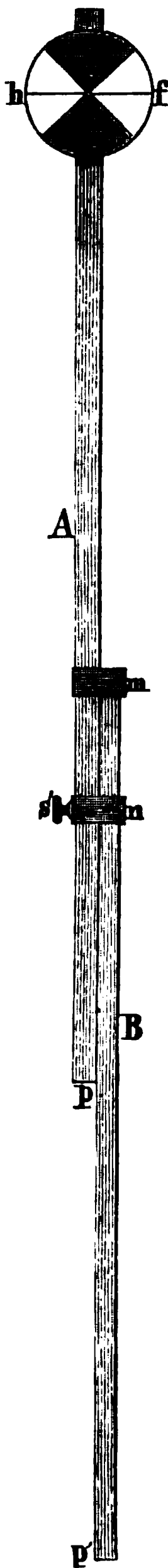


Fig. 275.

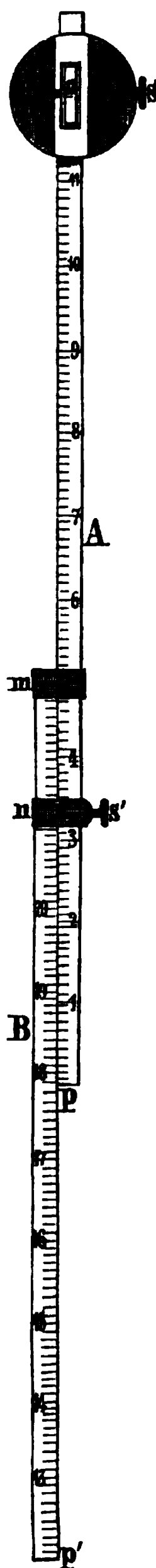
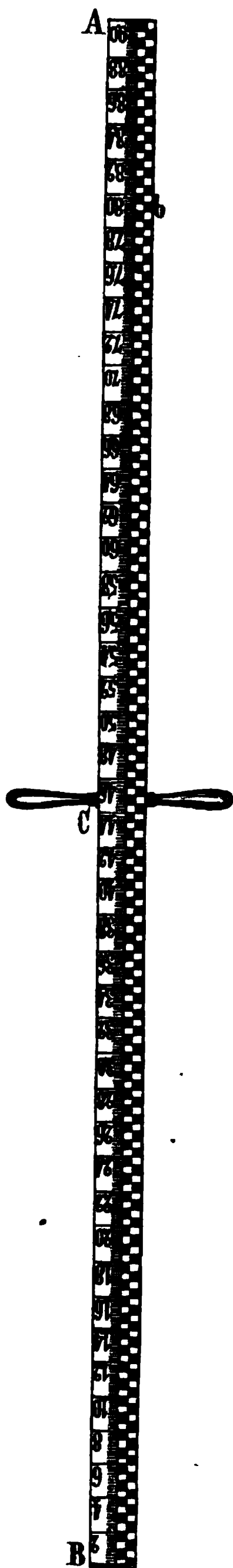


Fig. 276.



beschreiben: Die begedruckte Fig. 276 stellt eine von den tausendfach verbreiteten und daher immer noch gebrauchten Nivellirlatten mit einer Scala im Fussmasse aus dem Reichenbach'schen Institute von Ertel und Sohn in München vor. Dieselbe ist 9 Fuss lang,  $3\frac{1}{2}$  Zoll breit und 1 Zoll dick. Unten ist sie mit einer Eisenplatte von 1 Linie Dicke beschlagen; in einer Höhe von  $4\frac{1}{2}$  Fuss hat sie zwei Handgriffe (C) zum Halten und weiter oben einen Haken (b), woran sich ein Senkel befestigen lässt, der dem Messgehilfen zur lothrechten Stellung der Latte dient. Diese Latte ist sehr zweckmässig eingetheilt: von zwei zu zwei Zoll sind nämlich die Abstände vom Fusspunkte durch verkehrt gestellte Ziffern aufgeschrieben; ferner ist jeder Zoll durch ein schwarzes und weisses Quadrat in zwei und somit der Zwischenraum von einer Zahl zur anderen in vier gleiche Theile (halbe Zolle) getheilt; und endlich ist jeder halbe Zoll durch abwechselnde schwarze und weisse Striche von einer Linie Dicke in fünf gleiche Theile (Decimallinien) zerlegt. Bei dem Nivelliren richtet man das Fadenkreuz in die Mitte der Latte, so dass der Verticalfaden den Langseiten und der Horizontalfaden den Theilstreichen parallel läuft. Da das astronomische Fernrohr die Gegenstände verkehrt zeigt, so sieht man folglich die verkehrt geschriebenen Zahlen aufrecht und es scheint als ob die Höhen von oben nach unten gezählt würden. Darum muss man bei der Ablesung zunächst die oberhalb des Horizontalfadens sichtbare Zahl nehmen, zu dieser die Zolle und hierzu die Linien fügen, welche zwischen jener Zahl und dem genannten Faden enthalten sind.

Man hat früher eine Zeit lang die Linien auf einem durch die Mitte der Latte laufenden zollbreiten Messingstreifen mit feinen Strichen aufgetragen; diese Einrichtung hat sich aber als unpractisch erwiesen, insofern bei neuen Latten der Glanz des Messings und bei alten dessen Oxydüberzug die Theilstreiche nicht erkennen liessen und man daher die Linien innerhalb eines halben Zolls schätzen musste, während man jetzt nur noch Theile einer Linie durch das Augenmass zu bestimmen hat.

Will man aus einer gewöhnlichen Latte von 10 bis 15 Fuss eine grössere von 20 und mehr Fuss machen, so darf man auf dieselbe nur ein entsprechend getheiltes Lattenstück mittels eines langen eisernen Zapfens, der



ecken. Bei Nivellements Fig. 277.

in wenig durchschnittenem Terrain lässt man diesen Aufsatz weg, weil eine kürzere Latte ruhiger gehalten werden kann.

Die Scalenlatten, welche nach Metermass getheilt sind, unterscheiden sich von der hier beschriebenen Fussmasslatte lediglich durch die Theilung selbst, welche häufig nur bis auf ganze oder halbe Centimeter herabgeht. Wer eine solche Latte zum ersten Male in die Hand bekommt, wird sich deren Theilung sofort selber klar machen können, wie dieses sicherlich bei der hier in Fig. 277 stückweise abgebildeten Nivellirlatte von J. A. Schmidt in Halle a. S. der Fall ist, auf der durch Verschiebung der Centimeterfelder gegen einander ganze Centimeter in halbe getheilt werden.

#### Pendelinstrumente.

§. 218. Unter diese Gattung von Nivellirinstrumenten gehören die Setzwage, Pendelwage, Bergwage, Hängwage, Wallwage u. dgl. m. Alle diese Werkzeuge können keinen Anspruch auf Genauigkeit machen, da selbst bei ruhiger Luft das Loth kaum genauer als bis auf den tausendsten Theil seiner Länge den wahren Spielpunkt deckt, woraus denn auch eine Unsicherheit in der Höhenbestimmung gleich dem tausendsten Theil der Entfernung des einnivellirten Punktes vom Instrumente folgt. Rechnet man zu dieser Unsicherheit noch jene, welche in der Einstellung des Diopters liegt, so wird man die Genauigkeit dieser Instrumente wohl kaum höher als  $\frac{1}{500}$  anschlagen können. Aus diesem Grunde werden wir uns in keine weitgehenden Erörterungen über dieselben einlassen.

§. 219. Die Setzwage ist allgemein bekannt und bedarf gar keiner Beschreibung; jedermann weiss, wie Steinmetzen, Maurer und Zimmerleute dieses einfache Werkzeug handhaben, um Steine und Balken in wagrechte Lagen zu bringen. Soll aber die Setzwage zum eigentlichen Nivelliren benutzt werden, so muss sie mit einem Diopter verbunden sein, das sich auf einem Gestelle drehen lässt und dessen Abschlinie mit der Basis der Setzwage parallel, folglich zur Mittellinie senkrecht ist. Spielt das Loth auf diese Linie ein, so hat die Abschlinie eine wagrechte Richtung, und lässt man die Zielscheibe der Nivellirlatte in diese Richtung bringen, so kann der die Latte haltende Gehilfe die Visirhöhe ablesen. Dergleichen Vorrichtungen hat man früher allerdings benutzt; sie finden aber jetzt keine Anwendung mehr, da die Libelle ein weit sichereres Mittel ist, die Abschlinie eines Diopters horizontal zu stellen.

§. 220. Die Pendelwage besteht aus einem massiven, mehrere Pfund wiegenden Pendel mit eiserner Stange, an welche ein messingnes Diopterlineal mit senkrechten Flügeln angeschraubt ist. Diese Verbindung ruht

auf einem Stative und kann sich mittels eines Universalgelenks in jeder Richtung horizontal und vertical bewegen. Ist der Pendel ruhig geworden, so steht das Diopterlineal und mit ihm die Absehlinie horizontal. Selten aber steht der Pendel so stille, wie es gute Beobachtungen erfordern, oder es dauert sehr lange, bis es dahin kommt; darum ist auch dieses Instrument nicht mehr im Gebrauche, oder wenigstens nicht zu empfehlen.

§. 221. Die Bergwage ist im Grunde nichts Anderes als eine mit einem Gradbogen versehene Setzwage. Dadurch wird es möglich, die Neigungswinkel schiefer Flächen, namentlich von Böschungen, zu messen. Sie wird in Verbindung mit einem etwa 10 Fuss langen Richtscheite gebraucht, auf dessen Mitte sie gestellt ist und zu dessen schmalen Langseiten ihre Mittellinie senkrecht steht. In dieser Mittellinie liegt auch der Nullpunkt der Theilung des Gradbogens, welcher auf dem Dreiecke, das den Körper der Bergwage bildet, festgemacht ist. Da man mit diesem Werkzeuge die Böschungswinkel kaum genauer als bis auf  $\frac{1}{4}$  Grad messen kann, so hat es für das Nivelliren selbstverständlich nur eine geringe Bedeutung.

§. 222. Die Wallwage ist insofern eine Hängewage, als ein hölzernes, mit Dioptern versehenes gleichschenkliges Dreieck von etwa anderthalb Fuss Grundlinie und Höhe in der Mitte seiner Basis auf einem scharfen Stahlkeile, der sich an einem als Stativ dienenden Stocke befindet, aufgehängt wird. An seiner Spitze ist das Holzdreieck durchbohrt, um eine Schraubenspindel mit einer grösseren Metallkugel aufzunehmen, durch deren Verschiebung die Absehlinie berichtigt werden kann.

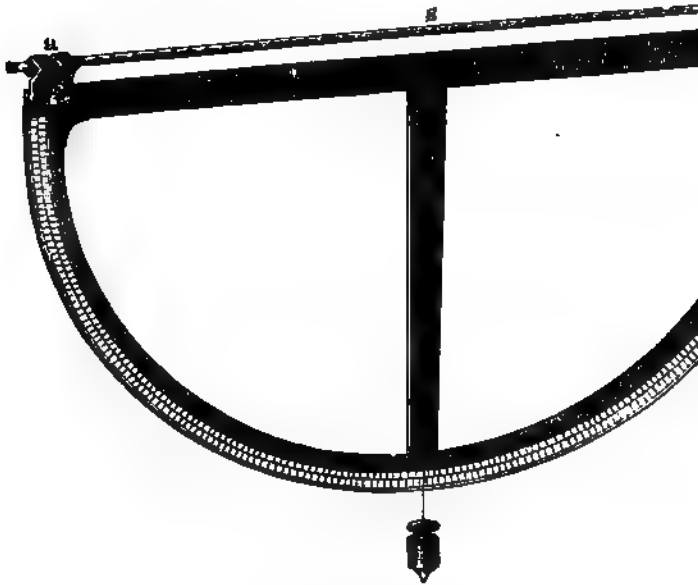
§. 223. Die Hängewage oder der Gradbogen der Markscheider (Fig. 278) ist dazu bestimmt, an einer ausgespannten Schnur aufgehängt zu werden, um hierdurch deren Neigung gegen den Horizont zu erfahren. Desshalb besteht sie aus einem mit Haken (a, a) versehenen Halbkreise von geschlagenem Messingbleche, in dessen Mittelpunkte ein Loth p befestigt ist, das an der Theilung des Bogens vorbeispielt. Das Blech, woraus der Bogen und seine massiven Arme gebildet sind, darf nicht zu dünn sein, damit es sich nicht biegt, aber auch nicht zu dick, damit es durch sein Gewicht die Richtung der Schnur durch Herabziehen nicht ändert: 0,2 Linien sind für die Dicke und 4 Linien als Breite genügend, wenn der Durchmesser des Bogens 8 bis 10 Zoll beträgt. Die Birne des Loths ist an einem Menschenhaare und dieses mit etwas Wachs in dem durchlöcherten Mittelpunkte des Bogens befestigt. Um das Haar mit der Birne zu vereinigen, wird es durch ein hohles Schräubchen gesteckt, unten umgebogen und auf dem Grunde der Birne festgeschraubt.

Die Prüfung des Gradbogens besteht darin, dass man zunächst mittels eines Zirkels seine Theilung untersucht, ob sie keine groben Fehler enthält, und, wenn diese richtig ist, eine Schnur so ausspannt, dass der daran aufgehängte Gradbogen genau einspielt. Nun lässt man die Schnur ganz ungeändert, und hängt den Gradbogen um, so dass er gegen seine erste Lage um  $180^0$  gedreht erscheint. Spielt hier das Loth wieder auf den Null-

#### Röhreninstrumente.

punkt der Theilung ein, und hat man vorhin keine Theilungsfel so ist die Hängewage richtig; ausserdem müsste einer der erhöht oder vertieft werden. Will man der Schnur keine hori

Fig. 278.



geben, so kann man die Prüfung auch bei geneigter Richtung indem man zusieht, ob der Bogen in zwei einander entgegenges gleiche Ablesungen gibt. Es ist immer gut, beide Prüfungen v und zwar die letztere bei verschiedenen Neigungen der Schnur greiflicherweise gleichförmig dick und fest sein muss.

#### Röhreninstrumente.

§. 224. Die Canalwage (Fig. 279, S. 376) besteht aus drischen Röhre (r) von Eisen-, Messing- oder Kupferblech, mit umgebogenen Endstücken (e, e) in denen kurze Glasocylinder (c und mit einer in der Mitte angebrachten hülsen- oder zapfenfö richtung (z), welche auf ein dreibeiniges Gestell (h) passt. Dieser sich so stellen lassen, dass der Zapfen z nahezu lothrecht wir einer horizontalen Drehung der Röhre r auch die Cylinder c lothrecht stehen. Die Blechröhre oder der Körper der Cani etwa 1 Meter lang und 3 bis 5 Centimeter weit gemacht, dar destens 3<sup>cm</sup> weiten Gläser leicht gefasst werden können. I stecken in Messing und sind durch Schrauben mit den Ende

wasserdicht verbunden; oben werden sie mit Stöpseln (d, d) leicht zugedeckt.

Dieses Röhrensystem wird mit reinem oder gefärbtem Wasser gefüllt und in der Art zum Nivelliren benützt, dass man an den in einer Horizontalebene liegenden Rändern (a, a') der durch die Gläser sichtbaren Flüssigkeitssäulen vorbei nach einer Schiebelatte visirt und deren Zielscheibe in die Abschlinie einwinkt. Damit man die Ränder der Wassercylinder gut sieht, müssen die Gläser möglichst rein sein, und damit sie wirklich in einer Horizontalebene liegen, dürfen die Gläser nicht zu eng und ungleich weit sein. Bei engen Gläsern von verschiedenen Durchmessern würde die Haarröhrchenkraft einen nachtheiligen Einfluss äussern, insofern die eine Flüssigkeitssäule höher stünde als die andere. Dieser Einfluss ist aber bei

Fig. 279.

Röhren, die über 2 Centimeter weit sind, auch wenn ihre Durchmesser merklich von einander abweichen, nicht mehr zu beachten; denn gesetzt, die eine Röhre wäre einen Pariser Zoll oder 27 Millimeter und die andere 28 Millimeter weit, so würde (da die Erhebung des Wassers bei 1 Millimeter Durchmesser der Röhre und bei einer Temperatur von  $8,5^{\circ}\text{C}$  29,8 Millimeter beträgt und die Erhebungen sich umgekehrt wie die Durchmesser verhalten) die Erhebung in der 27<sup>mm</sup> weiten Röhre 1<sup>mm</sup>,104 und in der 28<sup>mm</sup> weiten Röhre 1<sup>mm</sup>,065 und somit der Unterschied beider Erhebungen nur  $1,104 - 1,065 = 0,039$  Millimeter betragen. Der hieraus entspringende Fehler in der Visirhöhe wäre folglich, wenn die Gläser 1 Meter aus einander stehen, nur dem 25000sten Theile der Entfernung des einnivellirten Punkts vom Instrumente gleich und demnach etwa 25mal kleiner, als die

erreichen lässt.

Aber auch weite Glasylinder, bei denen die Haarröhrchenanziehung lange nicht mehr in Betracht kommt, dürfen nur sehr wenig verschiedene Durchmesser haben, weil sonst bei schiefem Stande des Stativzapfens jede Drehung des Instruments nach einer anderen Richtung den Horizont der Visirlinien hebt oder senkt. Um dieses einzusehen, stelle man sich zunächst unter *a b* in Fig. 280 die weite, unter *c e* die enge Glasröhre vor und nehme an, der Punkt *b* der Blechröhre liege um  $(b i) = u$  tiefer als der Punkt *e*. Ist für diesen Stand des Instruments *m n* die horizontale Abscehlinie, bezeichnet *R* den grösseren und *r* den kleineren Halbmesser der Wassercylinder *m b* und *n e*, nennt man *h* die Höhe *n e* der Abscehlinie über dem Punkte *e* und vernachlässigt man den schiefen Schnitt der Wassersäulen: so ist offenbar die Wassermenge beider  $R^2 \pi (h + u) + r^2 \pi h$ . Dreht man jetzt die Röhre *b e* um ihre Axe *v g*, welche senkrecht zu *b e*, aber nicht lothrecht ist, um  $180^\circ$ , so dass *e* nach *b* und der enge Cylinder an die Stelle des weiten kommt, so wird die Abscehlinie die höhere Lage *a c*, welche von *m n* um die Grösse *z* entfernt ist, einnehmen und es wird jetzt die Wassermenge in den beiden Flüssigkeitssäulen durch

$R^2 \pi (h + z) + r^2 \pi (u + h + z)$  ausgedrückt sein. Diese Wassermenge ist aber offenbar der vorigen gleich und es findet somit die Gleichung statt:

$$R^2 (h + u) + r^2 h = R^2 (h + z) + r^2 (u + h + z)$$

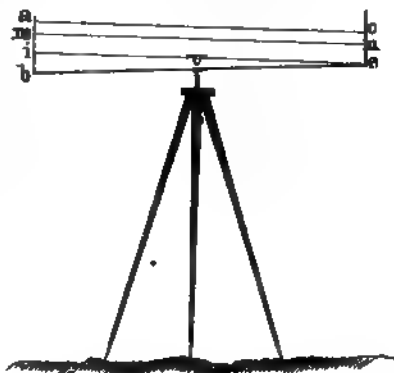
aus der man für den vorliegenden Fall die Erhebung des Horizonts der Abscehlinie

$$z = u \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2} \quad (166)$$

findet. Es ist von selbst klar, dass, wenn anfänglich *a b* die enge und *c e* die weite Glasröhre gewesen wäre, statt einer Erhebung des Horizonts eine Senkung desselben von gleichem Betrage sich ergeben hätte. Auch ist nicht schwer einzusehen, dass man der letzten Gleichung eine allgemeinere Bedeutung, als bei ihrer Entwicklung geschehen ist, dadurch geben kann, dass man unter *u* diejenige Grösse versteht, um welche sich die Länge *b i* von der ersten zur zweiten Lage der Blechröhre, welche um irgend einen Horizontalwinkel verschieden sein können, ändert.

Will man das Verhältniss bestimmen, welches zwischen den Halbmessern *R* und *r* stattfinden darf, wenn für einen bestimmten Werth *u'* von *u* der

Fig. 280.



Fehler  $z$  eine gewisse Grösse  $z'$  nicht überschreiten soll, so braucht man nur  $u'$  und  $z'$  für  $u$  und  $z$  in die letzte Gleichung zu setzen und daraus das Verhältniss von  $R : r$  zu suchen. Man findet dieses Verhältniss mit

$$z' = u' \cdot \frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2}$$

wenn man erst die Werthe  $u' + z'$  und  $u' - z'$  bildet und den einen Ausdruck durch den anderen dividirt; denn es wird alsdann

$$\frac{R}{r} = \frac{\sqrt{u' + z'}}{\sqrt{u' - z'}}. \quad (167)$$

Soll z. B. der Fehler in der Visirhöhe nicht mehr als 0,1 Zoll betragen, wenn das eine Ende der Blechröhre bei der zweiten Visur um 2 Zoll tiefer steht als bei der ersten, so muss

$$\frac{R}{r} = \frac{\sqrt{2 + 0,1}}{\sqrt{2 - 0,1}} = 1,05$$

sein; d. h. wenn  $r = 1$  Zoll ist, so darf unter den oben gemachten Voraussetzungen  $R$  höchstens 1,05 Zoll betragen.

Beim Gebrauche der Canalwage ist darauf zu sehen, dass die Deckel der Gläser nicht luftdicht schliessen, damit kein ungleicher Druck auf die Wassersäulen ausgeübt wird. Eine solche Ungleichheit würde die Höhenlage der Oberflächen der Wassersäulen und mithin auch die Horizontalität der Visirlinie beeinträchtigen und folglich die Messung fehlerhaft machen.

Das starke Schwanken des in der Canalwage befindlichen Wassers während des Transports von einer Station zur anderen kann dadurch gemässigt werden, dass man nach Fig. 279 in der Fassung jedes Glascyinders einen hohlen Blechkegel (i) anbringt, dessen kleinere Oeffnung nach oben gerichtet ist, während die grössere sich an die Röhrenwand anschliesst. Die vortheilhafte Wirkung dieses Kegels besteht allerdings zunächst darin, dass durch den verkleinerten Röhrenquerschnitt ein langsamerer Uebergang des Wassers von einem Glas in's andere stattfindet; sie hat aber auch noch einen anderen Grund. Es wird nämlich, wenn man das Wasser langsam an den Seitenwänden der Gläser in die Canalwage giesst, durch den in Rede stehenden Blechkegel der Eintritt von Luft in die Blechröhre (r) verhindert und dadurch der ununterbrochene Zusammenhang der Wassermasse des Instruments erhalten, welcher sehr wesentlich ist.

Da die Genauigkeit der Canalwage nur gering ist, so ist es nicht erlaubt, sie zu grösseren Nivellements zu verwenden, sie darf nur zur Aufnahme von Querprofilen oder anderen ähnlichen Arbeiten benützt werden. Man nimmt dabei die Entfernungen der Latte vom Instrumente nicht gern über 15<sup>m</sup> an, da bei diesen Stationslängen die Visirhöhen schon um 1<sup>cm</sup> unsicher sind.

Nach dieser Annahme würde die Genauigkeit der Canalwage  $\frac{1}{1500}$  der Stationslänge betragen. Erwägt man aber, dass zu der schiefen Lage der Absehlinie noch andere kleine Beobachtungsfehler kommen, welche aus dem

Stande der Latte, dem Einstellen der Zieltafel, dem Ablesen etc. entpringen, so ist es gerechtfertigt, die Genauigkeit der Canalwage für die einzelne Visur auf  $\frac{1}{1000}$  und für eine grössere Reihe aufeinander folgender Punkte (weil sich hierbei etwa die Hälfte der Fehler aufhebt), auf  $\frac{1}{2000}$  anzuschlagen.

Die Prüfung der Canalwage besteht nur darin, dass man sich von der guten Beschaffenheit der Gläser und ihrer wasserdichten Verbindung mit dem Instrumentenkörper überzeugt; ihr Gebrauch ergibt sich aus dem Vorhergehenden von selbst.

§. 225. Die Quecksilberwage. Diese ganz auf dem Princip der Canalwage beruhende, im Jahre 1790 von dem Engländer Keith angegebene Vorrichtung, ist wenig oder gar nicht mehr im Gebrauche, da man jetzt bei gleicher Güte wohlfeilere und bei gleichem Preise bessere Nivellirwerk-

Fig. 281



zeuge haben kann. Ihre Einrichtung ist indessen folgende. Zwei vierseitige prismatische Gefässe (A, A' Fig. 281) von 3 cm Weite sind durch eine 50 cm lange Röhre von etwa 1 cm Durchmesser verbunden und mit Quecksilber gefüllt. Auf den in einer horizontalen Ebene liegenden Oberflächen der Quecksilbersäulen schwimmen zwei mit Dioptern (d, d') versehene Würfel (S, S') von Elfenbein, und unterhalb der Mitte der Verbindungsröhre ist eine Hülse (B) angebracht, welche auf ein Stativ gestellt und horizontal gedreht werden kann. Die Gefässe und die Röhre, welche das Quecksilber enthalten, bestehen in der Regel aus Kupfer, manchmal aber auch aus hartem Holze. Die Deckel (b, b'), womit man die Quecksilberbehälter nach dem Gebrauche des Instruments schliesst, müssen sehr gut gearbeitet sein und durch Zwingen (z, z') und Druckschrauben (q, q') fest an die Gefässwände gepresst werden können, um jeden Quecksilberverlust zu verhindern. Während die prismatischen Gefässe A, A' durch die eben







Der Vortheil einer solchen Libellenwage gegenüber einer gewöhnlichen Setzwage ist, dass sie eine etwas grössere Genauigkeit gewährt und auch bei windigem Wetter gebraucht werden kann.

§. 228. **Libellensetzwage von Falter.** Der Mechaniker Falter in München hat der letztbeschriebenen Libellenwage eine einfachere Gestalt gegeben, insofern er nach Fig. 284 in einem etwa 75 cm langen und 3 cm

Fig. 284.

dicken Holzkörper zwei kleine Röhrenlibellen so anbringt, dass die eine in das Langholz eingelassene (I') zum Horizontalstellen, die andere in dem Hirnholze befindliche (I'') zum Verticalstellen dient. Die Glasröhren sind mittels eines unveränderlichen Harzkittes unmittelbar in die Höhlungen des Holzes gebettet und durch ausgeschnittene, auf das Holz geschraubte Messingplättchen gegen Beschädigung geschützt.

§. 229. **Setzniveau von Weisbach.** Zur Messung verticaler Neigungswinkel kann man sich in vielen Fällen mit mehr Vortheil des Setzniveau's

Fig. 285

als der in den §§. 221 und 223 beschriebenen Berg- und Hängewage bedienen. Fig. 285 stellt dieses Instrument dar. Es besteht aus einem mes-



Gebrauche des Setzniveaus stets den Werth  $\gamma$ , und bei dem aussergewöhnlichen Gebrauche den Werth  $\gamma'$  in Rechnung bringt.

## 2. Nivellirdiopter.

§. 230. **Gewöhnliches Nivellirdiopter.** Nach Fig. 286 besteht dieses Werkzeug aus einem messingnen Lineale (A B) von 30 bis 40<sup>cm</sup> Länge mit zwei senkrechten Flügeln (F, F'), an denen sich Diopter zum Vor- und Rückwärtsvisiren befinden. Damit die beiden Visirlinien genau in einer Ebene liegen, muss der Horizontalfaden jedes Objectivs genau durch die Mitte jeder Ocularöffnung gehen und überdiess mit der Linealebene parallel sein. Auf dem Lineale ist eine Röhrenlibelle, welche durch das Schraubchen d mit den Abschlinien parallel gestellt werden kann, befestigt. Zwei an einer Messingplatte (C D) angebrachte Stahlspitzen (bei C) bilden die Axe, um welche sich das Diopterlineal durch die Schraube G so viel auf- und abbewegen lässt, als zur Horizontalstellung der Libelle nöthig ist. Die

Fig. 286



Feder m verhindert jeden todtten Gang der Schraube G. Die Platte C D kann um eine Verticalaxe horizontal gedreht und diese Axe selbst, welche (nach Figur 288) ein massiver Zapfen mit kugelförmigem Ansatz ist und im Kopfe der Hülse h steckt, durch die vier Stellschraubchen a, a' und b, b' vertical gestellt werden. Dadurch wird die Platte C D selbst horizontal. Die Horizontalstellung dieser Platte hat man übrigens nur so weit auszuführen, dass die Fäden der Diopter wagrecht liegen; die Abschlinie wird immer erst durch die Schraube G genau horizontal gestellt. Die Hülse h wird mit der Schraube s auf dem nach Fig. 285 eingerichteten Zapfenstativ befestigt.

Die Prüfung des Nivellirdiopters besteht darin, dass man sich von dem Parallelismus der Libellenaxe mit den beiden Visirlinien überzeugt. Diese Ueberzeugung ist aber gegeben, wenn die nach §. 150, Nr. 1 angeordnete Messung das Ergebnis liefert:

$$2y = i + i' - h - h' = 0.$$



mit der Libelle und dem Stativ zeigt, zur Horizontaldrehung und Verticalbewegung vorübergehenden und dem folgenden *Instrumente* kann entweder auf einen passend abgedrehten Stock gesteckt oder mit einer Schraube S auf einer hölzernen Unterlage befestigt werden.

Der Gebrauch dieses kleinen Apparats ergibt sich von selbst und seine Prüfung ist sehr einfach, wenn man voraussetzen darf, dass die beiden entgegengesetzten Absehlinien wirklich zusammenfallen. Man braucht nämlich dann nur das Diopter auf eine etwa 30 Meter entfernte Schieblatte zu richten, die Libelle zum Einspielen zu bringen, die Zieltafel einzuwinkeln und ablesen zu lassen, hierauf aber das Instrument um  $180^\circ$  zu drehen und dasselbe Verfahren bei gleichem Stande der Latte zu wiederholen. Behält die Zieltafel bei einspielender Libelle ihre Höhe bei, so ist die Libellenaxe den Absehlinien parallel, ausserdem aber muss man jene Tafel in die Mitte der beiden Ablesungen stellen und die Libelle mit dem Schraubchen d so weit verbessern, dass die Visirlinie auf die Mitte der Tafel trifft. Will man dieses nicht, so kann man nach der Umdrehung des Instruments die Absehlinie wieder auf den ersten Punkt richten und die Hälfte des Ausschlags der Luftblase an dem Schraubchen d, die andere Hälfte an der Schraube G verbessern. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Verfahrensweisen ist zu einfach, als dass wir uns hier damit befassen wollen.

Zweifelt man an dem Zusammenfallen der beiden entgegengesetzten Absehlinien in eine einzige, so muss die Prüfung des Stampfer'schen Nivellirdiopters nach §. 150, welcher auch bei dem gewöhnlichen Nivellirdiopter in Anwendung kommt, vorgenommen werden. Eine Berichtigung könnte freilich nur von einem Mechaniker vorgenommen werden.

Die Genauigkeit des Stampfer'schen Diopters darf man erfahrungsgemäss auf  $\frac{1}{15000}$  der Entfernung annehmen, d. h. bei 45 Meter Abstand der Latte wird man die abgelesene Höhe noch auf 3 Millimeter richtig erhalten: mit einem gewöhnlichen Diopter ist nur ungefähr die Hälfte dieser Genauigkeit zu erreichen.

### 3. Nivellirinstrumente mit Fernrohr.

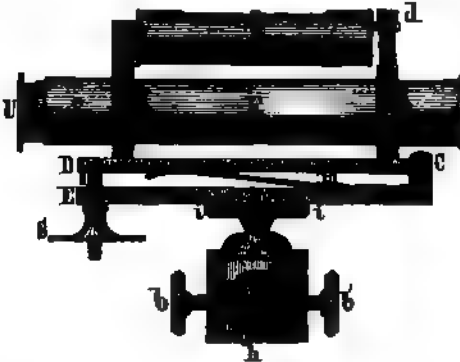
#### Das Stampfer'sche Nivellirfernrohr.

§. 232. Ein dem Nivellirdiopter ganz ähnliches Werkzeug ist das Taschen-Nivellirinstrument oder Nivellirfernrohr von Stampfer, welches in Figur 268 von der Seite und in Fig. 269 von vorne gesehen dargestellt ist. Es unterscheidet sich von dem eben betrachteten Nivellirdiopter nur dadurch, dass an ihm statt der nicht vergrössernden Linsenverbindung ein kleines Fernrohr von 12<sup>cm</sup> Länge und fünffacher Vergrösserung angebracht ist, und dass die Röhrenlibelle (L) über, nicht neben dem Fernrohre steht. Die Horizontal- und Verticalbewegungen sind völlig denen der beiden Nivellirdioptern gleich, weshalb wir dieselben nicht weiter besprechen, aber doch

### Das Stampfer'sche Nivellirfern

darauf hinweisen wollen; dass die vorstehenden F mit seinem Ansätze k durch punktirte Linien ande und 287 nicht der Fall ist. Das Fernrohr (F) kann

Fig. 288



Axe gedreht werden, da es in seinen Lagern (t. Fadenkreuz lässt sich ebenfalls nicht drehen. Letz der Ocularröhre verbundene Stifte (e), welche sic Objectivröhre bewegen, daran verhindert. Der s lang als die mögliche Aenderung der Bildweite ( Augenglas (U) lässt sich, so weit es das deutliche Fadenkreuze nähern oder von ihm entfernen. Der an dem Hebel CD zeigt, wenn er die Grundplatte die Libellenaxe zur Axe des Verticalzapfens k Stellung gibt man der Libellenaxe vor jeder Hc durch die vier Stellschraubchen a, a', b, b' in b wird. Vier um 90° von einander abstehende Mar kann man benützen um auf eine Visirrichtung ei stellen. Das ganze Instrument findet in einem 15' und 5<sup>cm</sup> hohen Kästchen und dieses selbst in e Verbindung desselben mit dem Stativ geschieht Schraube S, wie sie in Fig. 287 gezeichnet ist, welche man statt derselben an der Buchse h anbrin es beliebt.

Die Prüfung und Berichtigung der Libellens Nr. 1 vorgenommen und die deutliche Sichtbarkeit Verschiebung des Augenglases hergestellt. Eine kreuzes ist nicht nöthig, da dasselbe sich nur läng wegen kann.

Die Genauigkeit des eben betrachteten Instru Entfernungen der Latte auf 1 : 30000 veranschlagt







nimmt die Linie  $mm'$  die Lage  $m^0m''$  und  $uv$  die Lage  $u'v'$  an, wobei  $n'm^0 = om = d$ ,  $om'' = n'm' = d'$  und  $m^0u' = mu = m''v' = vm'$  ist. Man entnimmt nun leicht aus der Figur, dass der Neigungswinkel ( $v'a u = \psi$ ) der Libellenaxe  $v'a$  gegen den Horizont  $= 4\varphi$  ist, und dass somit der Ausschlag der Luftblase den vierfachen Fehler  $\varphi$  anzeigt.

Dieser Fehler  $\varphi$  hat immer einen nachtheiligen Einfluss auf das Niveliren, der sich aus der Gleichung (168) bestimmen lässt. Da nämlich die Visirlinie, wenn die Libelle einspielt, mit dem Horizont einen Winkel  $\varphi$  bildet, so wird man auf die Entfernung  $E$  die Lattenhöhe um eine Grösse

$$f = E \operatorname{tg} \varphi = \frac{E(d' - d)}{2e} \quad (169)$$

falsch erhalten, welche oft sehr bedeutend sein kann. Denn nimmt man an, dass der Unterschied in den Durchmessern nur  $0,1\text{mm}$  beträgt, so wird für  $e = 100\text{mm}$  und  $E = 100\text{m}$  der Fehler  $f = 50\text{mm}$ . Derselbe Fehler würde bei gleichen Ringdurchmessern offenbar auch dadurch entstehen, dass zwischen den Fuss der berichtigten Libelle und den Ring des Fernrohrs Sandkörnchen eindringen, welche die Libelle um  $0,1\text{mm}$  heben, und man entnimmt hieraus, wie nöthig es ist, die Ringe und die Füsse der Libelle von Staub rein zu halten.

Wenn sich, was aber höchst selten der Fall sein wird, eine Ungleichheit der Ringdurchmesser herausstellen sollte, so kann dieselbe zwar nicht berichtet, wohl aber durch mehrere Mittel in ihrer schädlichen Wirkung gemildert werden. Eines dieser Mittel ist die Verbesserung der Visirhöhen durch Berechnung der Fehler nach der letzten Gleichung. Alle diese Fehler sind den Entfernungen  $E$  proportional und daher, wenn einer bestimmt ist, leicht zu finden. Ein anderes Mittel besteht darin, dass man den Stand der Luftblase bestimmt, für welchen die Absehlinie horizontal ist, und die Libelle jedesmal auf diese Stelle statt auf den Nullpunkt der Scala einspielen lässt. Ein drittes Mittel endlich ist, sich genau gleichweit von den einzunivellirenden Punkten aufzustellen und gerade so zu verfahren, als ob der in Rede stehende Fehler nicht vorhanden wäre. In diesem Falle werden beide Visirhöhen um gleichviel zu gross oder zu klein erhalten und folglich gibt ihr Unterschied die Höhe des einen Punkts über dem anderen richtig. Es ist aber klar, dass bei diesem Verfahren keine Zwischenpunkte einnivellirt werden dürfen, weil für diese die Visirhöhen nicht um eben so viel fehlerhaft werden als die der äussersten Punkte einer Station, indem ihre Entfernungen vom Instrumente kleiner sind.

Ist das Ertel'sche kleine Nivellirinstrument berichtet, so ist sein Gebrauch ein sehr einfacher. Man stellt nämlich das Stativ in ungefähr gleicher Entfernung von den beiden einzunivellirenden Punkten A und B fest, richtet das Fernrohr auf die in dem Punkte A lothrecht stehende Latte, verschiebt das Ocular durch das Getriebe  $t$ , bis man auf ihr deutlich lesen kann, bringt dann durch Drehung des Fernrohrs das Fadenkreuz so in die Mitte der Latte, dass der eine Faden vertical, der andere horizontal

ist, stellt hierauf die Libelle mit der Mikrometerschraube  $r'$  horizontal, liest ab und schreibt die Ablesung auf. Ohne etwas an dem Stande des Gestells zu ändern, dreht man nun das Fernrohr nach dem zweiten Punkte B, wo jetzt die Latte steht, und wiederholt das vorige Verfahren: die Differenz beider Ablesungen gibt den gesuchten Höhenunterschied zwischen A und B. Es ist durchaus nicht nöthig, wie Manche irrig meinen, dass man in der geraden Linie A B das Instrument aufstellen müsse; es kann beliebig weit ausserhalb dieser Geraden stehen, wenn es nur von A und B nicht zu ungleich entfernt ist. Dass man diese Entfernungen nach dem Augenmasse gleich annimmt, hat darin seinen Grund, dass hierdurch, wie später gezeigt wird, der schädliche Einfluss der Strahlenbrechung und Erdkrümmung auf die Höhenbestimmung wegfällt. Man braucht aber in dem Abschätzen dieser Entfernungen keineswegs ängstlich zu sein, da 4 bis 5 Meter Unterschied der Längenabstände noch keinen merkbaren Fehler dieser Art veranlassen.

#### Das Amser'sche kleine Nivellirinstrument.

§. 235. In dem Reichenbach'schen mathematisch-mechanischen Institute von Ertel und Sohn in München wird ausser dem oben beschriebenen noch ein anderes kleines Nivellirinstrument angefertigt, welches das Amser'sche genannt wird, da ein Mechaniker dieses Namens dessen Einrichtung angegeben hat. Dieses Amser'sche kleine Nivellirinstrument darf nicht mit dem verwechselt werden, welches früher von Amser-Laffon in Schaffhausen angefertigt, in neuerer Zeit aber wegen seiner schwierigen Ausführung und Behandlung wieder aufgegeben wurde. Beide besitzen eine Röhrenlibelle mit doppelter Scala, und das Amser-Laffon'sche Nivellirfernrohr hatte noch überdiess hinter dem Doppelocular einen cylindrischen

Fig. 292 a

Spiegel, der ein Bild der Luftblase gab und hiedurch erkennen liess, ob diese im Augenblick des Ablesens auf der Nivellirlatte einspielte.

Die beigedruckte Fig. 292<sup>a</sup> stellt das Amser-Ertel'sche Nivellirinstrument

ohne Gestelle dar, das sich von dem in Fig. 290 abgebildeten nicht wesentlich unterscheidet und dessen Verbindung mit dem Fernrohr- und Libellenträger von untergeordneter Bedeutung ist. Dieser Träger dreht sich mit einer Hülse (B) um einen stählernen Zapfen, der von dem Dreifusse ausgeht, welcher unmittelbar auf dem Holzgestelle ruht und mit diesem elastisch verbunden ist. Die grobe Horizontal-Drehung des Trägers wird durch die auf den Zapfen wirkende Druckschraube  $q$  gehemmt, die feine durch die Stellschraube  $p$  hervorgebracht. Vertical lässt sich der ganze Träger und mit ihm Fernrohr und Libelle durch die Schrauben des Dreifusses und in seinem oberen Theile durch die Stellschraube  $r$  bewegen. In dem letzteren Falle geht die Drehung ähnlich wie die des Fernrohrs am Stampfer'schen Nivellirinstrumente (Fig. 265, Seite 358) um eine horizontale Axe  $x$  vor sich.

Das Fernrohr A ist genau so wie das des Ertel'schen kleinen Nivellirinstrumente (Fig. 290) eingerichtet und es lässt sich auch wie jenes in cylindrischen Lagern um seine mechanische Axe drehen. Ein Unterschied in der Befestigung besteht nur darin, dass sich das in Rede stehende Fernrohr nicht umlegen lässt, ohne dass man die beiden die Lager bedeckenden Schliessen  $s, s$  abschraubt. Der Constructeur glaubte auf dieses Umlegen um so mehr verzichten zu können, als sich die mit dem Fernrohre fest verbundene Libelle mit dem letzteren um dessen mechanische Axe dreht und durch den Stand der Luftblase gegen die zweite Scala, welche in der punktirten Libellenlage  $C'$  oben ist, einen allenfallsigen Collimationsfehler anzeigt, der im anderen Falle durch Umlegen des Rohrs aufgefunden werden kann, vorausgesetzt jedoch, dass die beiden Scalen ganz symmetrisch gegen die Libellenaxe liegen. Diese practisch schwer zu erfüllende Bedingung gab Anregung zur Construction der Libellen von Ott und Coradi in Kempten, welche nur Eine Scala haben, sich aber auch um ihre eigene Axe drehen lassen, so dass, wenn die Libelle C durch Drehung des Fernrohrs in die Lage  $C'$  gebracht ist, die unten stehende Scala nach oben kommt, sobald man die Libelle  $C'$  um ihre eigene Axe dreht.

Die Prüfung der gegenseitigen Lage der Fernrohr- und Libellenaxen des Amsler'schen Nivellirinstrumente beruht auf der eben erwähnten Voraussetzung und besteht darin, dass man erstens in bekannter Weise untersucht, ob die beiden Axen in einer Ebene liegen und sie nöthigenfalls durch die wagrechten Stellschraubchen  $c, d$  dahin bringt, und dass man zweitens zusieht, ob die Luftblase, wenn sie in der oberen Lage C der Libelle eingespielt hat, es auch in der unteren  $C'$  thut. Der sich hier ergebende Ausschlag entspricht dem doppelten Fehler in der Axenlage und muss halb an den lothrechten Stellschraubchen  $a, b$  und halb durch die Schraube  $r'$  verbessert werden. Kann man es dahin bringen, dass die Luftblase in den zwei diametralen Stellungen C und  $C'$  der Libelle einspielt oder gleiche Ausschläge nach gleichen Richtungen gibt, so ist die Idee, auf der die Einrichtung dieses Instruments beruht, verwirklicht und es kann dann genau so wie das eben beschriebene kleine Ertel'sche Nivellirinstrument

ult, zweite Ablesungen in der  
: zu machen.

**Das Ertel'sche grosse Nivellirinstrument.**

§. 236. Wir haben von diesem Instrumente bereits im vorigen Abschnitte (§. 202) eine Abbildung und Beschreibung geliefert, da es nicht

Fig. 268.

b

bloss zum Nivelliren, sondern auch zum Distanz- und Winkelmessen bestimmt ist. Wegen dieser dreifachen Bestimmung kann man es auch Universalinstrument heissen; die Benennung „grosses Nivellirinstrument“ wird jedoch von den Ingenieuren häufiger gebraucht, und da sie auch in dem Preisverzeichnisse von Ertel und Sohn vorkommt, so wollen wir sie hier ebenfalls anwenden.

Der früheren Beschreibung ist Nichts mehr beizufügen; nur über den Gebrauch des Universalinstruments zum Nivelliren sind einige Bemerkungen zu machen. Dieser Gebrauch setzt die Berichtigung des Instruments voraus. Wenn es sich aber bloss um das Nivelliren (nicht um Winkel- und Distanzmessung) handelt, so genügt es, dieselben vier Prüfungen vorzunehmen, welche im vorigen Paragraphen für das kleine Ertel'sche Nivellirinstrument als nothwendig erkannt und beschrieben wurden.

Hinsichtlich der Ausführung dieser Untersuchungen besteht zwischen dem grossen und kleinen Instrumente gar kein Unterschied; nur die Berichtigung des Fadenkreuzes geschieht auf verschiedene Weise: bei dem kleinen nämlich nach §. 70 und bei dem grossen dadurch, dass man den Theil der Ocularröhre, welcher das Fadenkreuz trägt, mittels der in Fig. 294

Fig. 294.

Fig. 295.

mit  $s_1$  und  $s_2$  bezeichneten Stellschraubchen, denen zwei andere  $s_3$  und  $s_4$  senkrecht gegenüberstehen, so weit gegen die Axe der Objectivröhre verrückt, bis der mittlere Kreuzungspunkt  $m$  in der Axe dieser Röhre liegt. Was in §. 234 über den Einfluss der ungleichen Ringdurchmesser des kleinen Instruments und dessen Beseitigung oder Vermeidung gesagt wurde, gilt hier ohne alle Ausnahme.

Das Verfahren, den Höhenunterschied zweier oder mehrerer Punkte zu finden, erfordert durchaus nicht, wie viele glauben, eine Horizontalstellung des Kreises, sondern einzig und allein nur die Horizontalstellung des Fernrohrs in der Richtung zur Latte. Selbst wenn mehrere einzunivellirende Punkte um den Standpunkt des Instruments liegen, gewährt es keinen Vortheil, den Kreis horizontal zu stellen; denn die Herstellung dieser Lage kostet mehr Zeit als die wenn auch mehrmals sich wiederholende Horizontal-



zu den Vortheilen, die dergleichen Instrumente in den vorhergegangenen Jahren gewährt haben und in den folgenden wieder gewähren werden, eine so geringe, dass sie nicht in Anschlag kommen kann.

Breithaupt in Cassel hat aus Veranlassung des erwähnten und von ihm vielleicht zu sehr gewürdigten Mangels seinen grösseren Nivellirinstru-

Fig. 296.

menten eine Einrichtung gegeben, wodurch das Fernrohr allerdings umgelegt, aber nicht um seine optische Axe gedreht werden kann, und wobei die Libelle zwar auf dem Fernrohre aufsitzt, aber nicht unmittelbar auf der Objectivröhre selbst, sondern auf den Köpfen stählerner Stellechrauben, welche in dieser Röhre stecken. Die Einrichtung eines solchen Nivellir-instruments ergibt sich aus der Zeichnung in Fig. 296, welche nach den in





In diesen beiden Lagen des Fernrohrs wird die Libelle (o), welche für 5 Secunden Neigung 1 Linie Ausschlag gibt, mit dem einen Ende auf dem abgeschliffenen Kopf des Stellschraubchens  $z$  oder  $z'$ , mit dem anderen Ende auf die Kante eines dreiseitigen Stahlprisma's (bei  $z$ , oder  $z_{,,}$ ) aufgesetzt und durch gabelförmige Füße ( $f, f$ ), die sich dicht an die Objectivröhre anschliessen, vor Seitenbewegungen bewahrt.

**§. 238. Prüfung und Berichtigung.** Wenn das grosse Breithaupt'sche Nivellirinstrument in seinen beiden Eigenschaften als Höhen- und Winkelmesser berichtigt sein soll, so müssen

- 1) die Libellenaxe und die durch die Auflagepunkte  $z, z$ , oder  $z', z_{,,}$  bestimmte Linie parallel sein; ferner müssen
- 2) die beiden Linien  $z z$ , und  $z' z_{,,}$  unter sich und
- 3) mit der die Abstände  $z z', z, z_{,,}$  halbirenden optischen Axe des Fernrohrs parallel laufen; weiter muss sich
- 4) die optische Axe des Fernrohrs in einer zum Horizontalkreise senkrechten Ebene kippen lassen; und endlich dürfen
- 5) die beiden Nonien des Höhenkreises keinen Collimationsfehler haben.

Ausserdem sollen die beiden Kreise und ihre Nonien richtig getheilt sein und keine Excentricitäten der Alhidade und des Fernrohrs stattfinden.

Zu 1. Um zu sehen ob die Libellenaxe der Linie  $z z$ , parallel läuft, bringe man die Luftblase mit Hilfe der Mikrometerschraube  $q$  zum Einspielen, setze hierauf die Libelle um und verbessere die eine Hälfte des Ausschlags durch die Stellschraube ( $b$ ) der Libelle, die andere aber durch die Mikrometerschraube  $q$  oder eine der Fusschrauben ( $w, w$ ). Hierau Wiederholung des Verfahrens. Es ist klar, dass die Libellenaxe, wenn sie mit  $z z$ , parallel ist, auch mit  $z' z_{,,}$  parallel läuft, sobald sie auf das umgelegte Fernrohr gesetzt wird.

Zu 2. Die Linien  $z z$ , und  $z' z_{,,}$  werden einander parallel sein, wenn in zwei genau entgegengesetzten Lagen des Fernrohrs die Luftblase der vorher berichtigten Libelle genau einspielt. Darum stelle man die Libelle auf  $z z_{,,}$ , bringe die Luftblase in die Mitte und lese die beiden Nonien des Höhenkreises so genau als möglich ab. Nun hebe man, ohne sonst an dem Instrumente Etwas zu ändern, das Fernrohr aus seinem Lager und setze es so wieder ein, dass es als durchgeschlagen erscheint; bringe hierauf die Libelle auf die feste Linie  $z' z_{,,}$ , lasse sie abermals einspielen und lese wieder die beiden Nonien am Verticalkreise ab. Ist das Mittel dieser Ablesungen dem Mittel der vorigen gleich, so sind die Linien  $z z$ , und  $z' z_{,,}$  parallel; weichen aber die beiden mittleren Ablesungen von einander ab, so bewirke man durch die Mikrometerschraube  $q$  ihre Gleichheit und verbessere aladann den Ausschlag der Libelle an einer der Schrauben  $z, z'$  durch Heraus- oder Hineindrehen.

Von der Richtigkeit dieses (wiederholt anzuwendenden Verfahrens) kann man sich leicht überzeugen, wenn man erwägt, dass durch Herstellung der gleichen mittleren Ablesungen (die aber insofern einander entgegengesetzt-

sind, als die eine Höhen- und die andere Tiefenwinkel bezeichnet) die Visirlinie und die Linie  $z z$ , genau in die ihrer ersten entgegengesetzte Lage kommen. Da nun  $z z$ , ursprünglich horizontal war, so ist sie es in der zweiten Lage wieder. Wenn aber in dieser Lage die auf  $z' z$ , stehende Libelle einen Ausschlag zeigt, so kann er einzig nur von der Linie  $z' z$ , herrühren, welche deshalb auch allein zu verbessern ist.

Zu 3. Die Visirlinie geht durch die Mitte der Auflagerabstände  $z z'$  und  $z, z,$  und ist der Libellenaxe parallel, wenn sie nach Umlegung des Fernrohrs und einer halben Drehung der Alhidade des Horizontalkreises bei einspielender Libelle ihre erste Lage wieder annimmt. Deshalb richte man, nachdem die Berichtigungen zu Nr. 1 und 2 gemacht sind, das Fernrohr auf eine etwa 50 Meter weit entfernte lothrecht stehende Nivellirlatte, stelle das Ocular so, dass man die Theilung ganz deutlich sehen kann, bringe die Libelle zum Einspielen und lese ab. Hierauf lege man das Fernrohr wie bei Nr. 2 um, drehe die Alhidade des Horizontalkreises um  $180^\circ$ , d. h. so weit um, dass das Fernrohr wieder auf die Latte, welche unverrückt stehen blieb, gerichtet ist, lasse die Luftblase einspielen und sehe zu, ob die neue Ablesung der vorausgegangenen gleich ist oder nicht. Sind beide gleich, so ist das Fadenkreuz richtig centrirt, weichen sie aber ab, so muss die halbe Abweichung durch die auf den Horizontalfaden wirkenden Stellschraubchen  $a, a'$  verbessert werden. Die Nothwendigkeit der Wiederholung des Verfahrens versteht sich von selbst.

Zu 4. Die Erfüllung der vierten Bedingung, dass sich die Visirlinie bei horizontal gestelltem Instrumente in einer Verticalebene bewege, setzt voraus: a) dass jene Linie senkrecht stehe zur Drehaxe des Fernrohrs, und b) dass diese Axe mit der Alhidadenaxe einen rechten Winkel bilde. Wie diese beiden Fälle untersucht werden, ist im §. 150 unter den Prüfungsverfahren zu Nr. 2 und Nr. 3 nachzulesen.

Zu 5. Ueber die Bestimmung und Beseitigung des Collimationsfehlers der Nonien am Höhenkreise gilt Alles was darüber in §. 150 Nr. 4 mitgetheilt wurde. Hinsichtlich der Excentricitäts- und Theilungsfehler glauben wir auf den Schluss des eben genannten Paragraphen und auf §. 151 verweisen zu dürfen.

Die Winkelmessung geschieht wie mit dem einfachen Theodolithen (§. 149) und das Nivelliren wie mit den Ertel'schen Nivellirinstrumenten (§. 234 und 236). Die Genauigkeit beider ist gleich.

#### Das Breithaupt'sche kleine Nivellirinstrument.

§. 239. Das Breithaupt'sche Nivellirinstrument ohne Horizontal- und Höhenkreis hat die in Fig. 298 dargestellte einfachere Form. Die Horizontal-drehung des Fernrohrs geschieht hier um einen mit dem Fernrohrträger (l) fest verbundenen und in den Dreifuss (t) eingeschliffenen Zapfen von ähnlicher Construction wie die des Alhidadenzapfens in Fig. 187. Durch die

Druckschraube  $q$  wird diese Drehung gehemmt; eine feine Horizontaldrehung ist nicht möglich, aber auch nicht nöthig, da man mit der blossen Hand

### Das Breithaupt'sche kleine Nivellirinstrument.

16 Linien; das astronomische Ocular vergrössert 30mal. Die Röhre, welche mit ihren Ansätzen  $p, p$  einerseits auf einer mit dem festverbundenen Stahlkante ( $c$ ) und andererseits auf einem Schraubenkopfe ( $s'$ ) ruht und durch Schliessen ( $s, s$ ) und Stifte ( $i, i$ ) zwischen den Armen ( $g, g$ ) festgehalten wird, gibt für 8 Secunden Neigung einen Ausschlag von einer Linie.

An diesem Instrumente ist vor seinem Gebrauche zu untersuchen, ob folgende Linien parallel sind:

- 1) die Libellenaxe und die durch die Punkte  $c$  und  $z'$  bestimmte Lage derselben;
- 2) die Linie  $c z'$  und die durch die Lagerpunkte des Fernrohrs Linie  $z z_1$ ; endlich
- 3) die Visirlinie und die Libellenaxe.

Die erste Untersuchung und eine durch sie bedingte Berichtigung sehen auf bekannte Weise. Die zweite Prüfung ist weit einzuwenden, die gleichvielfache des grösseren mit Verticalkreis versehenen Instruments. Man braucht nämlich nur die vorher berichtigte Libelle zum Einbringen und hierauf das Fernrohr sammt der Libelle umzulegen, bloss die Auflagepunkte  $z, z_1$  vertauscht werden, und zuzusehen, ob die Libelle wieder einspielt. Wenn ja, ist die Linie  $z z_1$  der  $c z'$  parallel; nicht, muss erstere durch das Schraubchen  $z$  verbessert werden. In der dritten Untersuchung stellt man die Seiten  $z z_1$  und  $z' c$  des auf ein Latte gerichteten Fernrohrs mit der Libelle horizontal und liest ab, wendet man das Fernrohr um, indem man es in der vorigen Richtung die Punkte  $c, z'$  legt, wodurch es um seine Axe gedreht erscheint, sieht zu, ob die Visirlinie wieder den vorigen Punkt der Latte trifft, schiebt diese, so ist die Absiehlinie den Linien  $z z_1, c z'$  parallel; es nicht, so muss durch die Schraubchen  $a, a'$  des Fadenkreuzes werden. In welchem Sinne dieselben zu bewegen sind, kann leicht selber klar machen.

### Das Nivellirinstrument von Stampfer und Starke.

§. 240. Die Beschreibung dieses Instruments haben wir bereits geliefert, als wir es in den §§. 208 bis 212 als Distanz- und Winkelbetrachteten. Ebendasselbst wurde seine Prüfung und Berichtigung bloss für diese beiden Zwecke, sondern auch für das Nivelliren bei diesen Beziehungen haben wir den früheren Beschreibungen hinzuzufügen, aber über seine Anwendung als Nivellirinstrument Einiges zu sagen.

Das Stampfer'sche Nivellirinstrument unterscheidet sich von allen anderen wesentlich dadurch, dass man nicht bloss auf die gewöhnliche Weise mittels horizontaler Absehlinsen, sondern auch auf aussergewöhnliche Weise mittels geneigter Visirlinien nivelliren kann. Diese besondere Methode, welche sich auf die Anwendung der mit grösster Sorgfalt gearbeiteten Mikrometer-schraube des Instruments gründet, gewährt in manchen Fällen Vortheile,

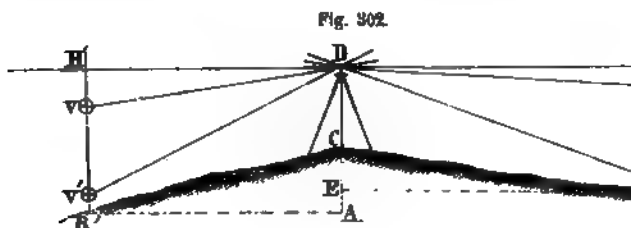
Fig. 301.

welche kein anderes Instrument darbieten kann, dann nämlich, wenn es sich um vorläufige Nivellements in sehr durchschnittenem Terrain, um Aufnahme von Schichtenlinien oder Horizontalcurven u. dergl. handelt; mit anderen Worten: wenn man in stark geneigtem und rasch wechselndem Terrain mit dem Nivelliren das Distanzmessen verbinden will und von beiden nicht den höchsten Grad der Genauigkeit fordert.

Um von der Stampfer'schen Nivellirmethode einen Begriff zu geben,

nehmen wir zunächst an, es handle sich darum zu bestimmen, Punkt B in Fig. 302 unter der Horizontalebene D H, welche optische Axe des Fernrohrs geht, liege. In B sei die in §. 208 Distanzlatte mit den beiden Scheiben v, v', welche genau u d von einander absteigen, lothrecht aufgestellt. Auf diese Latt das Fernrohr so, dass man sie ganz deutlich erkennen kann. H man die Libelle zum Einspielen und lese den Stand der Mikrom an der Scala g und der Trommel t ab. Diese Ablesung he visire man die obere Scheibe v genau in der Mitte an und Schraube wieder ab: die Ablesung sei o. Dasselbe thue r unteren Scheibe, für welche die Ablesung mit u bezeichnet. Wegen der Kleinheit der Winkel  $\alpha$  und  $\beta$  verhalten sich diese die ihnen gegenüberliegenden Seiten v v' und v' H, und zwei Anzahl der Schraubengänge. Nun hat aber die Schraube, um  $\alpha$  zu durchlaufen, o — u und um  $\beta$  zu durchlaufen h — u Umgäu daher ist, wenn man v v' = d und v' H = z setzt:

$$z = d \cdot \frac{h - u}{o - u}.$$



Fügt man zu dieser GröÙe noch den unveränderlichen Abstand  $\lambda$ , so ist die gesuchte Höhe  $BH = z + \lambda$ . Will man den Höhe zweier beliebiger Punkte B und B' finden, so erhält man für Punkt B', wenn er von dem ersten Standpunkte des Instrument nivellirt wird, und h, o' u' die neuen Ablesungen an der S z',  $\lambda$  die Abstände des Punkts B' von der Horizontalebene I unteren Scheibe bezeichnen:

$$z' = d \cdot \frac{h - u'}{o' - u'}$$

und  $B'H' = z' + \lambda$ . Der Höhenunterschied zwischen den bei B und B' ist nun offenbar gleich

$$z + \lambda - (z' + \lambda) = z - z' = d \left( \frac{h - u}{o - u} - \frac{h - u'}{o' - u'} \right)$$

Kennt man die Höhe i des Instruments in C, so ist auch di dieses Punkts gegen B und B' bekannt, indem sie für  $B = B z + \lambda - i$  und für  $B' = B'H' - CD = z' + \lambda - i$  ist. Nicht n man die Horizontalabstände e und e' von B C und B' C, da

$$e = \frac{k d}{o - u} \text{ und } e' = \frac{k d}{o' - u'}$$

ist, wobei  $k$  die Zahl 324 vorstellt.

Diese Andeutungen über den Gebrauch des Stampfer'schen Nivellir-instruments mögen hier, wo es sich nur um die einfachsten Messoperationen handelt, genügen; weitere Erörterungen darüber finden sich in der Lehre von den Messungen.

#### Der Tacheometer von Moinot.

§. 241. Nachdem im Jahre 1865 in dem „Giornale de Ingegneri-Architetto ed Agronomo“, Anno XIII, und bald darauf im „Civilingénieur“, Band XI, „drei Vorlesungen des Professors Major Porro in Mailand über Tacheometrie oder Schnellmesskunst im Original und der Uebersetzung erschienen waren, und nachdem gleichzeitig der französische Ingenieur Moinot bei J. Bounet in Périgueux ein Buch veröffentlichte, das den Titel führt: *Levés de Plans à la Stadia, Notes pratiques pour études de tracés*“, beschäftigten sich in Deutschland sofort viele Ingenieure mit dem angeblich neuen Verfahren der Terrainaufnahme, und mehrere von ihnen suchten auch Tacheometer zu erfinden, welche dieses Verfahren auf den höchsten Grad der Vollkommenheit bringen sollten. Aber die neue Methode bestand lediglich in der in Süddeutschland (namentlich in Bayern bei Projectirung der Eisenbahnen im Fichtelgebirge und im Allgäu) schon seit 1840 in ausgedehntem Masse angewendeten Darstellung des Terrains durch Horizontalcurven oder Schichtenlinien, und der Schnellmesser war nichts als ein mit Distanzmesser versehener Theodolith, wie wir ihn in Bayern seit Reichenbach, der schon 1826 starb, ebenfalls besitzen und anwenden. Zudem waren die Reichenbach-Ertel'schen Universal-Instrumente, welche nicht bloss zum Nivelliren, sondern auch zum Messen horizontaler und verticaler Winkel, sowie zum Distanzmessen dienen, nebst deren Verwendung zur Terrainaufnahme mittels Horizontalcurven, durch die zwischen 1856 und 1858 erschienene erste Auflage gegenwärtigen Werks, welche in der Vorrede zum zweiten Bande die fragliche Methode ausdrücklich die „Grundbedingung rationeller Entwürfe von Strassen, Eisenbahnen und Canälen“ nannte, in weiteren Kreisen bekannt oder konnten es wenigstens im Jahre 1865 sein, wo schon längst die zweite Auflage verbreitet war. Die Lebhaftigkeit der Aeusserungen des italienischen Professors und des französischen Ingenieurs, die wahrscheinlich beide die deutsche Vermessungspraxis und die hieüber erwachsene Literatur nicht kannten, ist begreiflich; dass sich aber ein grosser Theil deutscher Ingenieure verleiten liess, diese Aeusserungen als völlig begründet und demnach das mit Recht gepriesene Verfahren als neu anzusehen, ist weniger verständlich. Doch wollen wir hier nicht weiter mit ihnen rechten, sondern nur bemerken, dass alle ihre Versuche, Tacheometer zu erfinden, welche den mit einem Distanzmesser



verbundenen Theodolithen in seinen Leistungen weit übertreffen sollten, wegen der Anhäufung aller möglichen Vorrichtungen auf einem Stative, gelinde gesagt, missglückt sind.

Am brauchbarsten erscheint der Tacheometer von Moinot, weil er der einfachste ist. Er stellt nämlich einen Theodolithen mittlerer Grösse vor, der zum Distanzmessen und Orientiren der Aufnahmen eingerichtet ist. Das Fernrohr hat eine starke Vergrösserung und enthält wie der Reichenbach-Ertel'sche Distanzmesser ein Fadenkreuz mit drei horizontalen Linien und einer verticalen, welche sämmtlich auf Glas geritzt und geschwärzt sind. Die beiden äusseren Linien oder Fäden dienen zum Ablesen der Entfernungen; in besonderen Fällen, wenn nämlich die Distanz zu gross oder das eine Lattenende durch Gesträuch u. dgl. bedeckt wäre, kann man hiezu auch den mittleren Faden mitbenützen, gerade wie dieses auch bei dem Ertel'schen Distanzmesser der Fall ist. In dem Fernrohre ist die von Porro erfundene anallatische Röhre angebracht, welche der deutsche Distanzmesser nicht besitzt und auch nicht bedarf. Diese Röhre enthält mehrere Linsen, deren vereinigte optische Wirkung darin besteht, den durch das Fadenkreuz und den optischen Mittelpunkt des Objectivs bestimmten Sehwinkel auch für verschiedene Entfernungen der Latte unveränderlich zu machen (daher auch der Name „anallatisch“, von  $\alpha$  privativum und  $\alpha\lambda\lambda\acute{\alpha}\tau\tau\omega$  verändern). Der Horizontal- und der Verticalkreis (von 20 und bezw. 16 Centimeter Durchmesser) haben Centesimaltheilung und je zwei gegenüberstehende Nonien, welche die Winkel bis auf  $0^{\circ},01$  abzulesen gestatten. Die ganzen Kreise sind in 400 Grade getheilt. Wenn das Fernrohr des Theodolithen horizontal gestellt ist, zeigen die Nonien des Verticalkreises nicht  $0^{\circ}$  und  $200^{\circ}$ , sondern  $100^{\circ}$  und  $300^{\circ}$ , und zwar desshalb, um jede Verwechslung von Höhen- und Tiefenwinkeln oder der Vorzeichen  $+$  und  $-$  zu vermeiden. Es werden auf diese Weise Zenithwinkel abgelesen und es bedeutet an dem rechtseitigen Nonius eine Ablesung unter  $100^{\circ}$  einen Höhenwinkel und über  $100^{\circ}$  einen Tiefenwinkel. Der zweite (linkseitige) Nonius wird in der Regel nicht oder nur zur Controle gegen grobe Ablesefehler benützt. Dass die Complimente der Höhen- und Tiefenwinkel abgelesen werden, erschwert deren Verwendung zur Bestimmung der Höhenunterschiede nicht, während hiebei die Centesimaltheilung entschiedene Vortheile bietet, zumal wenn der logarithmische Rechenschieber mit benützt wird.

An dem Tacheometer von Moinot befinden sich zwei Röhrenlibellen: die eine (am linkseitigen Fernrohrträger vor dem Verticalkreise) dient zur Horizontalstellung des Instruments und zur Ueberwachung dieser Stellung; die andere (doppelschliffige) Libelle ist parallel der ersten und dem Fernrohre mit dem Verticalkreise verbunden und wird zum Nivelliren benützt, so oft dieses die trigonometrische Bestimmung der Höhenlage eines Punkts zu ersetzen vermag.

Der Horizontalkreis ist wie bei einem Repetitionstheodolithen um die Alhidadenaxe drehbar, jedoch nicht, um damit Winkel durch Repetition zu

messen, sondern um mittels einer auf dem genannten Kreise befestigten Bussole das horizontal gestellte Instrument vor Beginn der Messungen so zu orientiren, dass das Fernrohr die Richtung nach Norden hat, wenn der Horizontalwinkel null ist. Diese Bussole, deren Nullrichtung gegen die des Horizontalkreises verstellt werden kann, ist zwar nicht unbedingt notwendig, aber für die Controle der Winkelmessung und die Coordinatenberechnung sehr nützlich.

An dem Dreifusse des Moinot'schen Tacheometers ist wie an den alten Reichenbach'schen Repetitionstheodolithen ein Versicherungsfernrohr angebracht, das bei der Leichtigkeit, womit alle Bewegungen an unserem von E. Richer in Paris bezogenen Instrumente vor sich gehen, und bei dem nicht ganz unbedeutenden Gewichte desselben wohl erspart werden könnte, in keinem Falle aber schadet, wenn es vorhanden ist. Seine optische Kraft ist kleiner als die des Hauptfernrohrs.

Die 4<sup>m</sup> lange Distanzlatte (Mire parlante) kann mittels eines auf der Rückseite angebrachten Loths genau vertical gehalten und nach dem Gebrauche in der Mitte umgelegt werden. Das constante Verhältniss zwischen Lattenabschnitt und Entfernung ist 1 : 200, wesshalb 100<sup>m</sup> Entfernung durch einen Abschnitt von 0,5<sup>m</sup> dargestellt werden. Die acht halben Meter der Lattentheilung sind mit den Ziffern 1 bis 8 versehen, man kann also Entfernungen bis zu 800<sup>m</sup> ablesen; die Unterabtheilungen gehen bis zu 1<sup>cm</sup> herab und es entspricht somit die kleinste einer Entfernung von 2<sup>m</sup>; es lassen sich jedoch noch 0,25<sup>m</sup> durch Schätzung finden. Zwischen dem Horizontalabstande  $e'$  der verticalen Alhidadenaxe des Instruments und der lothrecht gehaltenen Latte, dem Lattenabschnitte  $e = u - o$  (der durch die Ablesungen  $u$  am unteren und  $o$  am oberen Fadenkreuze bestimmt ist) und dem Neigungswinkel  $\omega$  der Fernrohraxe gegen den Horizont findet die Beziehung statt:

$$e' = c \cdot e \cos^2 \omega = 200 e \cos^2 \omega = 200 e \sin^2 \alpha \quad (171^a)$$

Prüfung und Berichtigung des Moinot'schen Tacheometers stimmen vollständig mit denen überein, welche wir an Theodolithen, Nivellirinstrumenten und Reichenbach-Ertel'schen Distanzmessern vorzunehmen, haben, und bedürfen daher hier keiner weiteren Erörterung.

Was den Rechenschieber (Règle logarithmique) betrifft, der zur Ausführung der bei den Aufnahmen erforderlichen Rechnungen dient, so ist derselbe von Holz und einen halben Meter lang. Auf dem Lineale sind zwei logarithmische Scalen der gewöhnlichen Zahlen angebracht und auf dem Schieber trägt die eine Seite eine eben solche Scala, die andere eine Scala der Logarithmen der Sinus, welche sich über alle Winkel von 0,637° aufwärts bis 100° und beziehungsweise von 199,363° abwärts bis 100° erstreckt. Wegen der Gleichheit der Scalen von 0,637° aufwärts und von 199,363° abwärts bis 100° ist die Scala der Logarithmen der Sinus doppelt beziffert, vorwärts für die steigenden oder Höhenwinkel, rückwärts für die fallenden oder Tiefenwinkel. Um nun auch mit den Winkeln von 0° bis

0,637° und den ihnen entsprechenden Werthen 200° bis 199,363°, welche nicht auf der Scala verzeichnet sind, rechnen zu können, bedient man sich ihrer Geringfügigkeit wegen der 10fachen Werthe, indem man, um das Product aus dem Sinus und dessen Coefficienten nicht zu ändern, diesen gleichzeitig mit 10 dividirt; mit anderen Worten, man setzt, so lange der Werth  $\alpha$  nicht mehr als höchstens 0,7° beträgt,  $m \sin \alpha = 0,1 m \sin 10 \alpha$  oder  $123 \sin 0,47^\circ = 12,3 \sin 4,7^\circ$  oder  $123 \sin 199,53^\circ = 12,3 \sin 1995,3^\circ = 12,3 \sin 4,7^\circ = 12,3 \sin 195,3^\circ$ . Mit Rücksicht auf dieses erlaubte Verfahren lässt sich behaupten, dass die Scala nicht nur die Logarithmen der Sinus, sondern auch die Logarithmen der Cosinus von 0° bis 200° umfasst, da für  $\alpha < 100^\circ$  die Function  $\cos \alpha = \sin (100 - \alpha) = \sin (100 + \alpha)$  und für  $\alpha > 100^\circ$  der  $\cos \alpha = -\sin (\alpha - 100)$  ist: um nun die den Cosinus von 0° bis 200° entsprechenden Zahlen zu finden, hat man nur die auf der Scala stehenden Zahlen um 100 zu vermehren oder zu vermindern.

Auf der Rückseite des Schiebers befinden sich noch zwei Scalen, von denen die eine  $\text{Log} \sin^2 \alpha$  von  $\alpha = 40^\circ$  bis  $100^\circ$  und  $\alpha = 100^\circ$  bis  $160^\circ$ , die andere  $\text{Log} \text{tg} \alpha$  von  $\alpha = 0,637^\circ$  bis  $50^\circ$  und rückwärts  $\text{Log} \cot \alpha$  von  $\alpha = 50^\circ$  bis  $99,363^\circ$  gibt. Für die Winkel von 0° bis  $0,637^\circ$  und von  $100^\circ$  bis  $99,363^\circ$  gilt wieder der Satz  $m \sin \alpha = 0,1 m \sin 10 \alpha$ . Demnach sind die Zahlen der Tangenten von 0° bis  $50^\circ$  und die Cotangenten von  $50^\circ$  bis  $100^\circ$  vorhanden; erwägt man jedoch, dass die Tangenten und Cotangenten reciproke Werthe sind, so hat man auf der rückseitigen Scala im Grunde alle Tangenten und Cotangenten von 0° bis  $100^\circ$ .

Der Gebrauch des Rechenschiebers wird hier als bekannt vorausgesetzt; seine Genauigkeit steht im richtigen Verhältniss zur Genauigkeit, welche man von Schichtenplänen fordert. Zum Auftragen der aufgenommenen Punkte dient ein halbkreisförmiger Transporteur von Hornblatt (Rapporteur), dessen Limbus in entgegengesetzter Richtung, nämlich von rechts nach links, und zwar doppelt beziffert ist, während der Durchmesser vom Mittelpunkte aus nach seinen beiden Endpunkten in Millimeter getheilt ist. Die rechtseitige Theilung des Durchmessers entspricht der Limbustheilung von 0° bis  $200^\circ$ , die linkseitige der Theilung des Limbus von  $200^\circ$  bis  $400^\circ$ .

Eine ausführliche Beschreibung des Tacheometers und seines Zugehørs nebst Anleitung zu dessen Gebrauche findet man in dem oben genannten Werke des Ingenieurs Moinot „Levés de Plans à la Stadia“, welches vom Mechaniker Richer dem Instrumente beigegeben und zu 6 Frs. berechnet wird. Einen guten Auszug hieraus, bereichert durch eigene Beobachtungen und Erfahrungen, hat Ingenieur Heuser zu Berlin im XVII. Bande der Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, 1871, S. 445 bis 464 geliefert, auf den wir diejenigen verweisen, welche sich weiter unterrichten wollen, aber nicht in der Lage sind, die Schrift des Herrn Moinot zu lesen. (Von einigen anderen durch Fehler und Unklarheit glänzenden Schriften über Tacheometrie wollen wir schweigen.)

### Barometer.

§. 242. Es ist bekannt, dass der Druck der atmosphärischen Luft durch Barometer (von βαρος Schwere und μέτρον messen, Schwermesser) bestimmt wird. Ebenso ist bekannt, dass sich der Druck einer tropfbaren Flüssigkeit auf ihre Unterlage mit der lothrechten Höhe der Flüssigkeitssäule ändert. Hieraus ist zu schliessen, dass sich auch der Luftdruck von einem Orte A zu einem anderen B um den Druck einer Luftschichte ändere, welche den Höhenunterschied beider Orte zur Dicke hat; dass folglich aus der Druckänderung, welche der Barometer anzeigt, auf den Höhenunterschied beider Orte geschlossen werden kann, und dass somit der Barometer zu Höhenmessungen verwendbar ist. Bis in die neueste Zeit hat man hierzu nur Quecksilber-Barometer verwendet, welche den Luftdruck durch die Länge einer diesem Drucke das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule angeben; nunmehr gebraucht man aber zur Höhenmessung auch noch Federbarometer, d. i. solche, welche den Luftdruck durch die Elasticität oder Federkraft dünner Metallplatten zu messen gestatten. Es sind daher hier beide Gattungen von Barometern zu betrachten.

### Quecksilber-Barometer.

§. 243. Nach der Natur dieser Barometer muss die Länge der Quecksilbersäule in einer bestimmten mathematischen Beziehung zu der Höhe des Orts stehen, an welchem sie beobachtet wurde. Diese Beziehung ist ziemlich verwickelt, da es verschiedene Einflüsse gibt, welche den Druck der Luft und hiermit die Länge der Quecksilbersäule abändern. Eine genaue Messung muss allen diesen Einflüssen Rechnung tragen, und es geschieht dieses bei der Entwicklung der sogenannten Barometerformel. Wir haben es hier zwar noch nicht mit dieser Entwicklung zu thun, müssen aber jetzt schon wissen, welche Einflüsse bei barometrischen Höhenmessungen zu berücksichtigen sind, weil hiervon sowohl die Einrichtung als der Gebrauch des Barometers abhängt. Als ein Ergebniss der Theorie und Erfahrung führen wir daher an, dass auf die Berechnung des Höhenunterschieds zweier Orte aus Barometerbeobachtungen Einfluss haben:

1) Die Temperatur sowohl des Quecksilbers und des Massstabs als der den Barometer umgebenden atmosphärischen Luft; darum müssen diese Temperaturen durch besondere Thermometer gemessen werden.

2) Die Feuchtigkeit der Luft. Diese wird zwar in der Regel nicht besonders bestimmt, sondern nur nach einem gewissen arithmetischen Mittel in die Höhenformel aufgenommen; sie lässt sich indessen ohne grosse Mühe nach ihrer wahren Grösse, welche der Psychrometer angibt, berücksichtigen.

3) Die Schwerkraft. Da diese gegen die Pole hin zunimmt, so kann ihr Einfluss nur dann gehörig gewürdigt werden, wenn man die geographische Breite der Beobachtungsorte annähernd kennt.

### Quecksilber - Barometer.

4) Die Capillarität. Die gegenseitige Anziehung des Gl. Quecksilbers hat die bekannte Erscheinung zur Folge, dass die G. des letzteren in Barometerröhren immer etwas tiefer steht, als übrigen einwirkenden Kräften nach stehen würde. Dieser Höhenunterschied, welcher die Capillardepression des Quecksilbers heisst, muss zu der gemessenen Länge der Quecksilbersäule in jedem Schenkel des Barometers addirt werden, wenn jene Anziehung genügend gewürdigt werden soll. Von Delors nach der Formel von Schleiermacher berechnet (Nr. X des Anhangs) gibt die Capillardepressionen in Millimetern an, wenn man die Weite der Barometerröhre und die Höhe der Wölbung der Quecksilberoberfläche ebenfalls in Millimetern gemessen hat. Diese Wölbungshöhe muss darum bei jeder Höhenmessung beobachtet und aufgezeichnet werden, während die Weite der Röhre ein- für allemal bei Anfertigung des Barometers bestimmt wurde.

Hat man z. B. in einem Heberbarometer, den Fig. 303 vorstellen, und dessen langer Schenkel (bc) 4<sup>mm</sup>, dessen kurzer (d'n') 6<sup>mm</sup> weit ist, die Höhe der Wölbung im langen Schenkel = mn = 0,4<sup>mm</sup> und im kurzen = m'n' = 1<sup>mm</sup>,4 gefunden, so ist die Depression  $\delta$  für den ersten Schenkel nach der Tabelle = 1<sup>mm</sup>,158 und für den zweiten  $\delta' = 1<sup>mm</sup>,322$ . War der direct abgelesene Barometerstand zwischen den Quecksilberoberflächen m' und b = bc = l, so ist der von der Capillardepression befreite Barometerstand b'c' = l' aus der Gleichung  $l' + \delta' = l + \delta$  zu finden, welche  $l' = l + \delta - \delta' = l + 1,158 - 1,322 = l - 0,164$  Millimeter liefert. In einem Gefäßbarometer ist wegen der Weite des Gefäßes  $\delta' = 0$  und daher  $l' = l + \delta$ , d. h. man hat hier jederzeit nur die Depression  $\delta$  zu dem beobachteten Barometerstande l zu addiren.

Von den verschiedenen Arten von Barometern, welche es gibt hier nur einige zum Höhenmessen eingerichtete Reisebarometer bes



### Der Fortin'sche Reisebarometer.

§. 244. Als Reisebarometer werden sowohl Heber- als Gefäßb  
benutzt; den, welchen wir zuerst betrachten wollen, ist ein von  
in mehreren Theilen verbesserter Gefäßbarometer. Fig. 304, S. 4  
eine etwas verkürzt gezeichnete Ansicht dieses Barometers in dem  
vor, worin die untere Gefäßhülse (h) abgeschraubt und durchschn  
während Fig. 305, S. 411 einen Durchschnitt des Gefäßes in der  
zeigt, bei welcher die untere Quecksilberoberfläche gerade den M  
des Maassstabs berührt.

Das Gefäss besteht aus einem 15 Linien weiten und 12 Linien hohen, an seinen Rändern eben abgeschliffenen senkrechten Glaseylinder (c), welcher oben mit einem genau schliessenden metallenen Deckel (d) und unten mit einem hohlen Cylinder (b) von Buchsbaumholz vereinigt ist; den Boden desselben bildet ein an dem Umfange des Cylinders b angebundener und festgeleimter Beutel (a) von Handschuhleder. Den oberen Theil des Holzcyllinders umgibt ein angekitteter Messingring (e), welcher die doppelte Bestimmung hat, erstens die Verbindung der Glas- und Holzcyllinder fester zu machen und zweitens zur Aufnahme der Gefässhülse (h) zu dienen. Durch den in der Mitte verstärkten Boden dieser Hülse dringt eine Schraube (f) mit abgerundetem Kopfe, welcher den Beutel und mit ihm die Oberfläche des Quecksilbers hebt und senkt. Der Beutel kann für den Transport so weit gehoben werden, dass er dicht an dem unteren Ende (u) der Barometerröhre ansteht; in diesem Falle füllt das Quecksilber den Gefässraum vollständig aus. Dabei versteht sich von selbst, dass man vorher das Rohr so weit geneigt hat, als nöthig war, es ganz mit Quecksilber auszufüllen. Die Luft, welche sich bei gesenktem Quecksilber in dem Gefässe befand, ist durch eine im Deckel d befindliche kleine Oeffnung ausgetreten, welche beim Transporte des Barometers mit einer Schraube (s) quecksilberdicht geschlossen werden kann.

Die Barometerröhre ist in dem Gefässdeckel, der zu grösserer Festigkeit mit dem Ringe e durch kleine Bolzen (g, g) verbunden ist, mittels einer sie umgebenden Metallhülse (i) eingeschraubt und festgekittet. An den oberen Theil dieser Hülse wird ein Messingrohr (r) geschraubt, das die Barometerröhre nach ihrer ganzen Länge umschliesst und an seiner Seite das Thermometer (t) trägt, welches die Temperatur des Quecksilbers misst. Das Messingrohr ist zum Schutze der Glasröhre inwendig mit Leder gefüttert und oben, wo sich der Massstab befindet, auf zwei entgegengesetzten Seiten in einer Länge (r' r') von etwa 18 Zollen so weit ausgeschlitzt als nöthig ist, um den Stand des Quecksilbers genau beobachten zu können. Hierzu dient erstens der Massstab (m), welcher sich auf einer Seite der eben genannten Schlitz befindet, und zweitens der Nonius (n), welcher sich längs desselben verschieben lässt. Dieser



Den Nullpunkt des Massstabs bildet die feine Spitze eines in den Gefäßdeckel d eingeschraubten Stiftes z von Elfenbein; mit dieser Spitze muss beim Messen die Oberfläche des im Gefässe befindlichen Quecksilbers durch die Schraube f zur genauesten Berührung gebracht werden. Diese Einstellung wird etwas erschwert und folglich auch ein wenig unsicher, sobald das Quecksilber seinen Glanz verloren hat. Der Nullpunkt des Nonius liegt selbstverständlich in der Ebene der mit v, v bezeichneten Ränder der Spalten in der Hülse k. Die Theilung der Massstabs geschieht entweder im Meter- oder altfranzösischen Fussmasse.

Zum Aufhängen des Fortin'schen Reisebarometers dient ein Gestell (Fig. 306, S. 411) mit drei beweglichen Füßen, die sich in Scharniren drehen und mit eisernen Spitzen auf dem Boden feststellen lassen. Zur weiteren Sicherung ihres Stands sind drei mit Haken versehene Drähte (w, w) vorhanden, welche in die Beine eingehängt werden. Diese Füße sind ausgehöhlt, um den längeren Theil des Barometers in sich aufzunehmen, wenn sie geschlossen werden. Der Kopf des Stativs enthält ein Universalgelenk, welches gestattet, dass der Barometer eine lothrechte Lage annimmt, sobald er mit seiner Horizontalaxe x, x (Fig. 304) in dasselbe eingehängt wird. Wenn der Barometer in das Gestell eingepackt ist, so ragt oben noch ein Theil des ersteren über das letztere hervor. Um auch diesen Theil des Barometers gehörig zu schützen, wird darüber eine Kapsel gesteckt, welche bis an den Stativkopf reicht. Die Füße des Gestells werden an ihrem unteren Ende durch einen übergeschobenen Ring zusammengehalten. Die nunmehr etwa anderthalb Zoll dicke Hülle des Barometers wird in ein Lederfutteral geschoben und damit transportirt.

#### Der Gay-Lussac'sche Reisebarometer.

§. 245. Wenn die Heberbarometer, zu denen der Gay-Lussac'sche gehört, mit einer Vorrichtung zum Abschliessen der Quecksilbersäule und der atmosphärischen Luft versehen sind, so eignen sie sich wegen ihrer Leichtigkeit und compendiösen Form vorzugsweise zu Reisebarometern. Die Fig. 307 und 308 stellen einen solchen Barometer in der Ansicht und im Längendurchschnitte dar. Derselbe ist von dem einst rühmlich bekannten Glasbläser Greiner in München und entspricht seinem Zwecke vollkommen; denn er vereinigt die von Gay-Lussac und Buntzen herrührenden Verbesserungen auf die zweckmässigste Weise mit allen übrigen Anforderungen, die man an einen Reisebarometer billigerweise stellen kann. Wir bemerken zunächst, dass die beigedruckten Figuren im Verhältniss zur Länge etwas zu breit sind und zwar deshalb, weil sonst die Deutlichkeit der Zeichnung beeinträchtigt worden wäre. Ferner schicken wir die Bemerkung voraus, dass der Barometer in einem hölzernen mit Leder gefütterten und überzogenen Futterale steckt, dessen beide Theile (a c d, a c b) halbe Cylinder sind und sich um ein Scharnir (a c) drehen können. Wenn das Futteral



Fig. 307.

Fig. 308.

Fig. 309.



Fig. 310.

Fig. 311.



Fig. 312.





der Vortheil eines gläsernen Massstabs ist, dass sich die Theilung nur halb so stark ausdehnt, als wenn sie auf Messing sich befände. Bei vielen Messungen braucht man ebendesshalb gar keine Rücksicht auf die Ausdehnung des Glasmassstabs zu nehmen. Es versteht sich von selbst, dass die Verschiebung und Einstellung der äusseren Röhre mit aller Behutsamkeit geschehen muss, und dass der eben beschriebene Barometer bei Beobachtungen an freiliegenden Punkten ebenso wie der von Fortin an einem dreibeinigen und nach Fig. 306 eingerichteten Gestelle aufgehängt werden kann.

Fig. 313.

#### Der Rath'sche Reisebarometer.

§. 246. Die drei Barometer, deren sich der Verfasser im August 1857 zur Ausführung der in der Vorrede und in dem Abschnitte über barometrisches Höhenmessen erwähnten Beobachtungen im bayerischen Hochgebirge bediente, wurden von dem Mechaniker Peter Rath in München nach dem Muster der von dem k. bayerischen topographischen Bureau verwendeten Reisebarometer neu angefertigt. Die Schenkel eines jeden dieser Barometer sind gleich weit und besitzen die Gay-Lussac'sche Sicherheitsvorrichtung nicht. Dagegen sind sie nach Fig. 313 durch eine eiserne Röhre (a, a) verbunden, welche während der Reise durch zwei Hahnen oder Wechsel (c, c') von demselben Metalle abgeschlossen werden kann. Die Theilung ist auf die Glasröhren geätzt, die Bezifferung aber daneben auf schmale Messingstreifen gravirt, welche mit den Röhren und dem Thermometer (t) auf einem halbcylindrischen Stabe (b) von Nussbaumholz befestigt sind. Ein hohler Halbcylinder aus demselben Holze, der mit dem genannten Stabe durch Messingringe fest verbunden werden kann, deckt den Barometer, wenn er eingepackt werden soll. Zum Transport dient ein Lederfutteral, das sich wie ein Gewehr umhängen lässt, und worin sich auch der Thermometer für die Luft und ein Senkel zum Aufstellen des Barometers befindet.

Die lichten Weiten der Röhren unserer drei Barometer sind bei Nr. 1 = 4<sup>mm</sup>,69, bei Nr. 2 = 5<sup>mm</sup>,44 und bei Nr. 3 = 5<sup>mm</sup>,49. Die unmittelbare Theilung

der Scalen gibt Pariser Duodecimallinien, die Nonien theilen diese in Zehntel ab, und Hundertel können geschätzt werden. Mit den Nonien (n, n) sind Diopterfäden verbunden, die mit Hilfe des Spiegelbilds, das sich von ihnen in der Röhre erzeugt, ganz scharf auf den Rand der Quecksilbersäulen eingestellt werden können.

Die Aufstellung des Barometers geschieht auf einem dreibeinigen Stative, an dessen beweglichen Verticalzapfen (z) es fest angeschraubt werden kann. Dieser Zapfen dreht sich in gleicher Weise wie jener der Ertel'schen Feldbussole (§. 133, Fig. 169) in einem Kugelgelenke der ihn umschliessenden Messingbüchse, sobald man je zwei der auf ihn drückenden vier Stellschrauben (s, s) wirken lässt. Mit Hilfe dieser Schrauben und des am oberen Ende des Stabs b zu befestigenden feinen Senkels geschieht die lothrechte Aufstellung des Instruments in wenigen Secunden. Wir halten diese Aufstellung für besser als die in Fig. 306 dargestellte, weil erstens die Wärmestrahlung des Bodens weniger ungleich auf den Barometer und Thermometer wirkt und zweitens das Ablesen, namentlich am unteren Nonius, wesentlich erleichtert ist. Dabei versteht sich, dass das Gestell nur so hoch sein darf, dass man auch den oberen Nonius (allenfalls mit Hilfe einer Unterlage) bequem beobachten kann.

§. 247. **Prüfung der Barometer.** Die Genauigkeit der beobachteten Barometerstände ist unmittelbar abhängig von der Genauigkeit der Scalen, an denen man sie abliest. Es ist daher auf deren Prüfung zunächst alle Sorgfalt zu verwenden. Dieses kann mit einem Kathetometer oder in Ermangelung desselben mit einer als vorzüglich bekannten Längentheilmachine geschehen. Wir benützten die des mechanischen Instituts von Ertel und Sohn dahier.

Mehrmals wiederholte Vergleichen zeigten, dass die Theilungen unserer drei Rath'schen Barometer zwischen den Theilstrichen 0 und 100, sowie zwischen 250 und 350 sehr gut und die aufgefundenen Differenzen so gering sind, dass sie füglich als Beobachtungsfehler angesehen werden können, da sie nirgends die Dicke eines Theilstriches erreichen. Anders aber verhält es sich mit dem Abstände von 100 auf 250, welcher zu Ablesungen nicht benützt wird, daher ungetheilt, zugleich aber so gross ist, dass ihn die Rath'sche Theilmachine nicht unmittelbar angeben kann. Die Zusammensetzung dieses Abstands von 150''' Länge aus zwei Theilen veranlasste einige Fehler, welche wir wie folgt fanden:

$$\text{Barometer Nr. 1} = 150,003 - 150 = + 0'',003;$$

$$\text{„ Nr. 2} = 150,160 - 150 = + 0'',160;$$

$$\text{„ Nr. 3} = 150,080 - 150 = + 0'',080.$$

Die Differenz bei Nr. 1 kann als Beobachtungsfehler angesehen werden, wogegen aber alle an Nr. 2 und 3 abgelesenen Barometerstände beziehungsweise um 0'',16 und 0'',08 zu klein und folglich um diese Grösse zu vermehren sind.

Nächst der Prüfung der Scalen ist eine Vergleichung der Barometer mit

einem Normalbarometer erforderlich. Unsere drei Instrumente wurden, der Bitte ihres Verfertigers gemäss, vor der Ablieferung am 15. August 1857 auf der k. Sternwarte zu Bogenhausen mit dem daselbst befindlichen Normalbarometer von Vaccano verglichen. Vor jeder der nachfolgend verzeichneten Beobachtungen wurde das Normalbarometer jedesmal erschüttert, die Reisebarometer aber geneigt und erschüttert. Temperaturen sind nicht angegeben und die Depressionen als gleich angenommen. Wären diese berücksichtigt, so würden die in der Tafel enthaltenen Differenzen (bei denen jedoch die Scalencorrection berücksichtigt ist) wahrscheinlich kleiner sein.<sup>1</sup>

Vergleichung der Barometer mit dem Normalbarometer der Sternwarte.

Nr.	Normal-Barometer.	Barometer Nr. 1.		Barometer Nr. 2.		Barometer Nr. 3.	
		Stand + 0''',00	Diff.	Stand + 0''',16.	Diff.	Stand + 0''',08.	Diff.
⋮	'''	'''	'''	'''	'''	'''	'''
4	316,01	336,62—20,70	+ 0,09	330,68—14,90	+ 0,07	338,42—22,55	+ 0,06
5	315,95	336,70—20,72	— 0,03	330,60—14,85	+ 0,04	338,48—22,55	— 0,06
6	315,85	336,58—20,82	+ 0,09	330,58—14,98	+ 0,09	338,40—22,52	— 0,11
⋮		⋮		⋮		⋮	
Mittel:	315,90	315,89	+ 0,01	315,85	+ 0,05	315,97	— 0,70

Da die Barometer durch die Reise beschädigt werden können, so muss man sie auch vor und nach einer Messung unter sich vergleichen. Wir haben dieses mit unseren drei Instrumenten am 17. und 29. August 1857 gethan und dabei die Theilungsfehler, Temperaturen und Depressionen in der Weise berücksichtigt, wie es §. 248 verlangt. Die Ergebnisse dieser beiden Vergleichen sind nachstehend verzeichnet, erstens, um darzuthun, dass man hierbei die Temperaturen und Depressionen nicht unberücksichtigt lassen darf, und zweitens, um einen Ueberblick der einzelnen Abweichungen zu geben. Die Differenzen beziehen sich auf das Mittel der reducirten Barometerstände.

Vergleichung der Barometer vor dem Gebrauche.  
Am 17. August 1857.

Nr.	Barometer Nr. 1.				Barometer Nr. 2.				Barometer Nr. 3.			
	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.
	'''	0	'''	'''	'''	0	'''	'''	'''	0	'''	'''
1	307,00	12,4	306,99	+ 0,05	307,06	12,5	307,05	— 0,01	307,05	12,3	307,05	— 0,01
2	306,99	12,5	306,98	+ 0,06	307,02	12,3	307,02	+ 0,02	307,13	12,6	307,11	— 0,07
3	307,00	12,4	306,99	+ 0,05	307,08	12,5	307,06	— 0,02	307,13	12,7	307,10	— 0,06

<sup>1</sup> Es sind zehn Beobachtungen gemacht, aber nur drei aufgeführt worden, weil es sich hier mehr um die Form als die Ergebnisse der Vergleichung handelt.

Vergleichung der Barometer nach dem Gebrauche.  
Am 29. August 1857.

Nr.	Barometer Nr. 1.				Barometer Nr. 2.				Barometer Nr. 3.			
	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.	Stand.	Temp.	Reduct.	Diff.
	'''	0	'''	'''	'''	0	'''	'''	'''	0	'''	'''
1	310,22	13,3	310,22	— 0,04	310,30	13,8	310,27	— 0,09	310,20	13,5	310,19	— 0,01
2	310,12	13,3	310,12	+ 0,06	310,27	13,5	310,25	— 0,07	310,20	13,3	310,20	— 0,02
3	310,24	13,8	310,20	— 0,02	310,25	14,0	310,20	— 0,02	310,19	13,7	310,16	+ 0,02

§. 248. Gebrauch des Barometers. Hier kann es sich nur darum handeln, zu erklären, wie der Reisebarometer aus- und eingepackt, aufgestellt, abgelesen und der auf 0° reducirte Barometerstand hergestellt wird. Weitere Regeln gehören in die Lehre von den barometrischen Höhenmessungen und werden am betreffenden Orte gegeben.

An der Beobachtungsstation wird zunächst ein grosser Sonnenschirm und unter diesem ein Stativ für den Barometer so befestigt, dass sie allenfallsigen heftigen Windstössen widerstehen. Hierauf nimmt man den in einer hölzernen Schale verwahrten Barometer aus dem Lederfutterale, legt ihn wagrecht nieder, zieht die die beiden Theile der Hülle festhaltenden Ringe ab und löst die obere Schale von der unteren. Alsdann hält man das Instrument mit der linken Hand in schräger Richtung so, dass der kurze Schenkel über dem langen liegt, zieht den Pfropf (p) im kurzen Schenkel um einige Zolle zurück, klopft mehrmals auf das untere Ende des Barometers, öffnet hierauf den daselbst befindlichen Hahnen oder Wechsel, klopft abermals, indem man gleichzeitig den Barometer der lothrechten Stellung nähert, und öffnet nunmehr auch den oberen Wechsel. Sobald das vorher abgeschlossene Quecksilber in den kurzen Schenkel eingetreten ist, schraubt man das Instrument auf das Stativ und gibt ihm mit Hilfe des Senkels die lothrechte Stellung, wobei zu verhüten ist, dass die Senkelbirne auf das Glas schlägt.

Das Einpacken des Barometers beginnt mit der Einschiebung des Pfropfs in den kurzen Schenkel bis nahe an den Quecksilberspiegel. Hierauf folgt die Abnahme des Instruments vom Stativzapfen, die Neigung des Barometers bis zum Anschlagen des Quecksilbers an dem oberen Ende des langen Schenkels, ein Klopfen mit der Hand am unteren Ende des Schafts, der Verschluss der beiden Hahnen, schliesslich das Auflegen und Befestigen der Holzschale und das Einschieben des Instruments in das Lederfutteral, wobei das obere Ende des langen Schenkels nach unten gerichtet ist.

Ist das Einpacken bei niedriger Temperatur geschehen, und steigt diese während der Reise bedeutend, so wird der Ausdehnung des Quecksilbers dadurch Rechnung getragen, dass man bei schräger Haltung des Barometers und unter stetem Klopfen zuerst den unteren und dann den oberen Wechsel öffnet, sogleich aber auch beide wieder verschliesst. Ebenso verfährt man,

wenn nach dem Einpacken die Temperatur sehr stark gesunken ist, um das Luftbläschen, das durch den untern Wechsel in den durch das Zusammenziehen des Quecksilbers frei gewordenen Raum eingedrungen ist, sofort zu entfernen. Hieraus erklärt sich auch, warum der abgeschlossene Barometer stets verkehrt, d. i. das obere Ende abwärts, getragen werden muss.

Wenn der aufgestellte Barometer einige Zeit frei gestanden und die Zeit einer Beobachtung gekommen ist, so liest man zuerst den am Instrumente befindlichen Thermometer ab, um die Temperatur des Quecksilbers zu erfahren. Ein späteres Ablesen ist weniger gut, weil während der Einstellung und Ablesung der Nonien die Körperwärme des Beobachters auf den Thermometer wirkt. Nachdem diese Temperatur aufgezeichnet ist, stellt man mittels der Schraube die an den Nonien angebrachten Diopterfäden genau auf den Rand der Quecksilberkuppen ein, liest beide Nonien ab und zeichnet die Ablesungen auf. Bei dem Einstellen der Diopter soll man senkrecht auf die Barometerröhren sehen, was der Fall ist, sobald die Theilstriche auf den Röhren ihre eigenen Spiegelbilder decken. Schliesslich werden die Fäden auch noch auf die höchsten Punkte der Quecksilberkuppen eingestellt und beide Nonien abgelesen, wodurch man die Höhen dieser Kuppen erfährt.

Fig. 314.

Gewöhnlich bestimmt man den Barometerstand aus den Einstellungen auf die Kuppenscheitel, die Ableitung desselben aus der Einstellung auf den Rand der Kuppen hat aber nach unserer Meinung den Vorzug, dass die Operation in kürzester Zeit und folglich fast ohne alle Mittheilung von Körperwärme an den Barometer geschehen kann, während das Einstellen auf den Scheitel der Kuppen unsicher und zeitraubend ist. Misst man dagegen die Kuppenhöhe für sich, so schadet es dem Barometerstande gar Nichts, wenn man sich dabei etwas länger vor dem Instrumente aufhält. Ueberdiess braucht man diese Höhen auch, um die Depressionen des Quecksilbers nach der im Anhang zu Bd. II mitgetheilten Tafel Nr. X zu finden.

Die beige gedruckte Fig. 314 zeigt, wie die Kuppenhöhen und Depressionen in Rechnung zu bringen sind. Ist nämlich  $en = B'$  der an den Rändern abgelesene Barometerstand, und setzt man die Depression in dem langen Schenkel  $dm = \delta$ , in dem kurzen  $d'm' = \delta'$ , die Kuppenhöhe  $mn = k$  und  $m'n' = k'$ , so ist der wahre Barometerstand

$$B = b'o' = en + dn - d'n'$$

und, da  $en = B'$ ,  $dn = \delta + k$ ,  $d'n' = \delta' + k'$ , auch

$$B = B' + k - k' + \delta - \delta'. \quad (172)$$

An unseren drei Barometern fanden in der Zeit vom 20. bis 26. August 1857

im Mittel aus je 32 Messungen folgende Werthe der Kuppenhöhen und Depressionen statt:

Barometer:	k.	k'.	$\delta - \delta'$ .
Nr. 1 . . .	0''',335	0''',435	— 0''',140
Nr. 2 . . .	0,394	0,497	— 0,101
Nr. 3 . . .	0,347	0,442	— 0,102.

Hiernach erhält man mit Rücksicht auf die Scalencorrection für diese drei Instrumente die folgenden, von der Capillardepression befreiten Barometerstände:

$$B_1 = B' + 0,00 - 0''',10 - 0''',14 = B' - 0''',24;$$

$$B_2 = B'' + 0,16 - 0,10 - 0,10 = B'' - 0,04;$$

$$B_3 = B''' + 0,08 - 0,10 - 0,10 = B''' - 0,12;$$

und damit den auf 0° reducirten Barometerstand:

$$B_0 = \frac{B}{1 + \gamma t} = B (1 - \gamma t) \quad (173)$$

wobei  $\gamma$  den Ausdehnungscoefficienten des Quecksilbers für 1° der Scala bezeichnet, in welcher die Temperatur  $t$  ausgedrückt ist, nämlich  $\frac{1}{5550}$  für 1° C und  $\frac{1}{4440}$  für 1° R.

§. 249. Noch zwei Correctionen. 1) Wenn man die Barometerstände sehr genau finden will, so genügt es noch nicht, die Nonien (wo sie angebracht sind) richtig abzulesen und die Capillardepression in Rechnung zu bringen: man muss vielmehr auch noch darauf Rücksicht nehmen, dass sich die Massstäbe wegen der Ausdehnung ihres Stoffes selbst verändern, d. h. dass ihre Theile grösser oder kleiner werden, je nachdem sie wärmer oder kälter sind als sie zur Zeit der Theilung waren.

Die Temperatur, für welche die Theilung des Massstabs ganz richtig ist, heisst dessen Normaltemperatur und beträgt z. B. für das französische Fussmass 13° R, während sie für das Metermass = 0° ist. Hat man nun für  $t$ ° C einen bereits von der Capillardepression befreiten Barometerstand gefunden, so wird derselbe in folgender Weise auf die Normaltemperatur, welche wir allgemein durch  $\tau$ ° C bezeichnen wollen, reducirt.

Bezeichnet man nämlich den Ausdehnungscoefficienten des Stoffes, aus dem der Massstab besteht, für 1° C mit  $k$ , so wird die Länge  $b$  des Massstabs für einen Temperaturunterschied von  $u$ ° C um das Stück  $k u b$  grösser oder kleiner,<sup>1</sup> je nachdem  $u$  eine Zu- oder Abnahme der Temperatur vorstellt, und um dasselbe Stück findet man den Barometerstand  $b$  beziehlich zu klein oder zu gross, wesshalb es in dem ersten Falle zu  $b$  addirt, in dem zweiten aber davon subtrahirt werden muss. Es ist somit ganz allgemein der auf die Temperatur des Massstabs reducirte Barometerstand

$$b' = b + k (t - \tau) b. \quad (174)$$

<sup>1</sup> Eigentlich sollte man  $k$  nicht mit  $u b$ , sondern mit  $u b^0$  multipliciren, wenn  $b^0$  die Länge des Massstabstücks vorstellt, welches bei  $t^0$  C zwischen den beiden Quecksilberspiegeln enthalten und auf 0° reducirt ist. Die Grössen  $b$  und  $b^0$  sind aber so wenig von einander verschieden, dass recht wohl  $k u b$  statt  $k u b^0$  gesetzt werden kann.





Ist  $h$  ohnehin bekannt, so braucht man, wie hier gezeigt ist, nur einen, ausserdem aber zwei Versuche zur Bestimmung der Grösse  $c$ . Man wird indessen besser verfahren, wenn man seine Barometer von Zeit zu Zeit wieder auskocht, um sie ganz luftleer zu machen.

### Federbarometer.

§. 250. Die Elasticität oder Federkraft dünner Metallbleche wandte zuerst der Engländer Vidi auf die Messung des Luftdrucks an, indem er 1847 der Pariser Akademie der Wissenschaften einen „Aneroidbarometer“, d. i. einen Barometer ohne Quecksilber (von  $\alpha$  privativum und  $\pi\eta\rho\acute{o}s$  nass, feucht), vorlegte. Bald darauf construirte Bourdon in Paris, welcher sich zuvor schon mit der Anfertigung von Federmanometern beschäftigt hatte, einen dem Vidi'schen ähnlichen „Metallbarometer“, und später verbesserten die Mechaniker Naudet und Hulot daselbst die Einrichtung des Aneroids von Vidi und gaben ihm den Namen „Baromètre holostérique“ (von  $\acute{o}\lambda o\varsigma$  ganz und  $\sigma\tau\epsilon\rho\epsilon\acute{o}s$  starr, fest, was also auch den Ausschluss jeder Flüssigkeit bedeutet, wie das Wort Aneroid). Ohne an dem Vidi'schen Princip etwas zu ändern, das auch durch Bourdon, Naudet, Hulot nicht geschah, erfand der Mechaniker Goldschmid in Zürich 1857 einen von den übrigen wesentlich verschiedenen Uebersetzungsmechanismus, den er seitdem immer noch zu verbessern sucht.

Indem wir alle hier aufgeführten Namen in den einzigen, welchen die Ueberschrift dieses Capitels trägt, zusammenfassen, bemerken wir, dass der eine Hauptbestandtheil aller Federbarometer ein kleines luftleeres Gefäss mit sehr dünner metallener Decke ist, die bei jeder Aenderung des Luftdrucks federt; der andere wesentliche Bestandtheil dieser Barometer ist der Mechanismus, welcher die durch den Luftdruck bewirkten Dimensionsänderungen des Gefässes vergrössert darstellt. Wir werden hier nur die Federbarometer von Naudet und von Goldschmid beschreiben.<sup>1</sup>

### Der Naudet'sche Federbarometer.

§. 251. Beschreibung. Die beiden Figuren 315 und 316 stellen einen solchen Barometer im Durchschnitte und Grundrisse dar.<sup>2</sup> Derselbe befindet sich in einer messingnen Büchse, welche mit einem Glasdeckel abgeschlossen und mit einem Ringe zum Aufhängen versehen ist, und besteht zunächst aus einer an den Boden dieser Büchse festgeschraubten Grundplatte (a),

<sup>1</sup> Vergl. Le Roux, Bulletin de la Société d'Encouragement, Septbre. 1866; Goldschmid, neuen Aneroidbarometer, Zürich 1869; Höltschl, die Aneroide von Naudet und von Goldschmid, Wien 1872; Bauernfeld, Beobachtungen und Untersuchungen über die Eigenschaften der Naudet'schen Aneroidbarometer, München 1874.

<sup>2</sup> Unsere drei Barometer, von J. Feiglstock in Wien bezogen und mit den Nummern 38255, 38262, 50700 bezeichnet, haben 12 und die Abbildungen 10 Centimeter Durchmesser; letztere sind also nur um ein Sechstel kleiner als die Instrumente selbst.



des Wellenblechs möglichst unabhängig von anderen Einflüssen als denen des Luftdrucks zu erhalten, wird der Messapparat, welcher auf der Metalldecke (b) ruht, von einer breiten schwanenhalsartig gekrümmten Stahlfeder (c) getragen, welche mit einem in cylindrische Zapfen auslaufenden Querstück (e) in kupfernen Trägern (d) ruht, die auf der Grundplatte angeschraubt sind. Das Querstück kann durch eine gebogene Verlängerung (e'), welche mit einer durch die Grundplatte reichenden Zugschraube (s) in Verbindung steht, an seine Träger (d) angedrückt werden. Der Messapparat besteht fürs Erste aus einer kleinen kupfernen Säule (f), die auf der Mitte der Wellendecke befestigt ist, die Stahlfeder durchdringt, diese mittels einer starken Stahlschneide niederdrückt und so in Spannung erhält. Auf diese Weise sind jetzt die Büchse b und die Feder c durch die Säule f zu einem elastischen System verbunden, welches den Bewegungen des Luftdrucks folgt. Um diese kleinen Bewegungen vergrößert sichtbar zu machen und dann zu messen, dient weiter die Stange g g', welche an der Stahlfeder c befestigt ist und an deren dünneres Ende sich mittels Kniegelenks eine stählerne Triebstange (h) anschliesst. Diese Stange wirkt auf den Winkelhebel i k m, der in der Transmission k seine Drehaxe hat und bei l ein Gegengewicht zur Berichtigung des Ausschlags des Arms k m trägt. Durch diesen Arm und den festen Schenkel m u, der bei u in ein um die Welle n geschlungenes feines Stahlkettchen ausläuft, wird die geradlinige lothrechte Bewegung der Säule f in eine wagrecht rotirende des Zeigers o z verwandelt, der auf einem eingetheilten Gradrings (Limbus, Scala) durch seine Stellung gegen die Theilung den Luftdruck anzeigt. Die Welle n bewegt sich um eine zur Grundplatte senkrecht stehende Axe o n auf einer in der Platte t steckenden Spitze und in einem Lager, das von zwei kleinen Säulchen (p, p', Fig. 316) getragen wird. Eine Spiralfeder, welche diese Welle umgibt und dem Kettchen n u entgegenwirkt, soll durch stete Spannung jeden todten Gang dieses letzteren verhindern. Die Theilung des Rings wird in gleichen Theilen ausgeführt, wovon jeder einem Millimeter entspricht, ohne jedoch gerade dessen Grösse zu haben; die Bezifferung der Theilstriche geschieht so, dass an einem und demselben Orte die Angaben des Federbarometers und eines Normalbarometers übereinstimmen. Diese Uebereinstimmung kann durch die Stellschraubchen 1 und 2 (Fig. 315) bewirkt werden, welche auf die Schenkel i k und k m des Winkelhebels i k m in der Art wirken, dass sie bei gleicher Höhenbewegung der Triebstange h den Ausschlag dieses Hebels und hiermit auch den des Zeigers o z vergrößern oder verkleinern können. Ueber dem Gradrings ist ein gekrümmter Thermometer angebracht, welcher die Temperatur des Instruments abzulesen gestattet, die bei genaueren barometrischen Höhenmessungen zu berücksichtigen ist. Zur Bestimmung der äusseren Temperatur dient ein kleiner Thermometer, den man in einem besonderen Futterale bei sich führt.

§. 252. Gebrauch. Kein Instrument ist leichter zu gebrauchen als der Federbarometer von Naudet; es kommt nur darauf an, dass man am

Beobachtungsorte den Stand des Zeigers und die abliest, was am besten bei wagrechter Lage des leichten Klopfen am Gehäuse geschieht. Diese eine allenfallsige Hemmung in dem Bewegungen beseitigen. Wie bei anderen Ablesungen auf Scalen hat man auch hier zur Vermeidung von halten, dass seine Verbindung mit der Zeigerspit steht. Unterabtheilungen der Millimeter (bis zu durch Schätzung erhalten. Neue Federbarometer, bezogen worden sind, soll man nicht sofort zu benutzen, weil anfangs noch nicht alle Theile des es empfiehlt sich, dergleichen Instrumente durch Bergen oder auch unter dem Recipienten einer verschiedenen nicht zu schwachen Drückungen die einzelnen Metallbestandtheile gewissermassen molecularen Spannungen, welche die reinen Wi einträchtigen, möglichst zu befreien.

Bei einem Transporte ist das Instrument vor schütterungen und bei der Beobachtung vor ungewahren, wesshalb es sich in einem mit Tragri Futterale befindet, dessen Deckel bei dem Gebra kann, so dass Theilung und Zeiger sichtbar sirlang sein, um das Anschlagen des Barometers an lichtet zu vermeiden. Nach der Ankunft am B wegen der Ausgleichung der verschiedenen Temp strumententheile einige Zeit verstreichen lassen,

Diese Ablesungen werden selbstverständlich einstimmen, welche man unter übrigens gleichen I silberbarometer gemacht hätte, noch weniger we peratur 0° reducirtten Barometerständen gleich sei Aneroid-Ablesungen gewisse Verbesserungen ar mit den Quecksilber-Barometerständen in Uebere

§. 253. Verbesserungen der Aneroidstän der Federbarometer sind im Allgemeinen drei Ve wegen der Temperatur, der Theilung und der un des Zeigers.

1) Die Temperaturcorrection ist diejei Scalentheilen, um welche der abgelesene Stand unverändertem Luftdrucke vermindert werden m positiv ist, und umgekehrt. Man darf nach den für + t° die Wärmecorrection

$$c'' = - at$$

setzen, wenn der Factor a den Temperatur jenige Verbesserung einer Ablesung, welche eine

1<sup>o</sup> entspricht, vorstellt. Wenn also an einem Federbarometer bei der Temperatur  $+t^0$  der Stand  $B$  abgelesen wurde und andere Verbesserungen nicht zu berücksichtigen sind, so beträgt die Ablesung bei  $0^0$ :

$$B' = B - a t. \quad (177)$$

Der Werth von  $a$  ist selbstverständlich für 1<sup>o</sup> R in dem Verhältnisse von 5 : 4 grösser als der für 1<sup>o</sup> C, und man hat den grösseren Werth anzuwenden, wenn der Thermometer des Instruments Réaumur'sche Grade hat, und den kleineren bei Centigraden. Die Temperatur  $t$  ist stets mit ihrem Vorzeichen zu versehen.

2) Die Theilungscorrection ist diejenige Verbesserung  $c'$ , welche an der Ablesung des Federbarometers angebracht werden muss, um die Scalentheile in Millimeter auszudrücken. Diese Scalen sind nicht nach Normalpunkten wie bei Thermometern, sondern nach einer Mustertheilung angefertigt (Schablonenscalen), während der Gang des Zeigers dem Luftdrucke proportional ist und für eine bestimmte Aenderung des letzteren einen gewissen Ausschlag macht, der einer bestimmten Anzahl von Millimetern der Quecksilbersäule entspricht. Wäre nun zufällig diese Anzahl von Millimetern jener der vom Zeiger durchlaufenen Scalentheile gleich, so würde jeder solche Theil einem Millimeter entsprechen, und die Theilungscorrection wäre null. Dieser Zufall tritt selten oder nie ein; man kann vielmehr durch die Stellschraubchen 1 und 2 nur bewirken, dass der Zeiger einen gewissen normalen Luftdruck  $N$ , für welchen die Berichtigung des Federbarometers stattfand, richtig angibt: die Ablesungen am Zeiger werden von der Wahrheit um so mehr abweichen, je grösser der Unterschied zwischen dem Normaldrucke  $N$  und dem abgelesenen Drucke  $B$  ist. Man kann somit, wenn die Scalentheile nahezu einem Millimeter entsprechen, die Theilungscorrection

$$c' = b (N - B) \quad (178)$$

setzen, wobei  $b$  der Theilungscoefficient oder der in Millimeter ausgedrückte Werth eines Scalentheils ist. Für  $N$  setzt man am besten den der Meereshöhe entsprechenden mittleren Druck von 760<sup>mm</sup> in die Formel ein, weil alsdann die Correction  $c'$  unter gewöhnlichen Umständen stets positiv wird. Unsere Versuche zeigen, dass die Correction  $c'$  kein dem obigen Ausdrucke beigefügtes zweites Glied von der Form  $b' (N - B)^2$  bedarf, um dieselbe genauer zu machen, und dass es somit völlig genügt, die Theilungscorrection  $c' = b (N - B) = b (760 - B)$  zu setzen.

3) Mit der Standcorrection  $c$  hat es folgende Bewandniss. Ein vollkommen fehlerfreier Federbarometer sollte bei der Temperatur  $0^0$  denselben Barometerstand zeigen wie ein Normalbarometer; die Erfahrung lehrt aber, dass dieses selten oder nie der Fall ist, und wenn ja einmal, dass diese Uebereinstimmung bald wieder verschwindet: bei den besten Federbarometern besteht zwischen ihrer auf  $0^0$  reducirten und vom Theilungsfehler befreiten Angabe  $B_0 = B + c' + c''$  und dem Stande  $N$  des Normalbarometers noch ein Unterschied

$$c = N - B_0 \quad (179)$$

welcher von der Unvollkommenheit der Einrichtung und Berichtigung des Federbarometers herrührt und den man, weil er die Grösse bezeichnet, um welche der Stand  $B_0$  vermehrt werden muss, um  $N$  zu geben, nicht unpassend die Standcorrection genannt hat. Man setzt auch hier am besten für  $0^0$  Temperatur den Druck  $N = 760 \text{ mm}$ .

4) Wenn man in vorstehender Gleichung für  $B_0$  seinen Werth  $B + c' + c''$  einsetzt und  $N = 760 \text{ mm}$  annimmt, wie es gewöhnlich geschieht, so findet man schliesslich den corrigirten und auf Null reducirten Barometerstand

$$A_0 = B + c + b(760 - B) - a t \quad (180)$$

Mit diesem Werthe von  $A_0$  und der noch besonders bestimmten Lufttemperatur  $T$  kann man nach der im zweiten Theile dieses Buchs zu entwickelnden Barometerformel die Höhe der Station, auf welcher  $A_0$  und  $T$  beobachtet wurden, über einer anderen, für welche  $A_0'$  und  $T'$  bekannt sind, berechnen.

§. 254. **Constantenbestimmung.** In dem Ausdrücke für  $A_0$  kommen drei unbekannte Constante vor: der Temperaturcoefficient  $a$ , der Theilungscoefficient  $b$  und die Standcorrection  $c$ . Diese Grössen kann man nun entweder mit einander einzeln durch Versuche bestimmen, oder man leitet sie aus einer grösseren Reihe von Beobachtungen unter Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate ab.

1) Beschäftigen wir uns zuerst mit der zweiten Art der Constantenbestimmung, welche man die mittelbare nennen kann.

Die Gleichung (180), mit welcher die Ablesung  $B$  am Federbarometer auf den Normalbarometerstand reducirt wird, lässt sich auch so schreiben:

$$A_0 - B = c + b(760 - B) - a t \quad (181)$$

und nimmt, wenn man  $A_0 - B = u$ ,  $t = x$ ,  $760 - B = y$ , den Coefficienten von  $c$  oder  $1 = z$  setzt und das Vorzeichen von  $a$  mit diesem Buchstaben selbst verbunden denkt, die Form an, welche in §. 16 des zweiten Bandes der Ausgleichung vermittelnder Beobachtungen von gleicher Genauigkeit zu Grunde gelegt wurde, nämlich

$$u = a x + b y + c z.$$

Nennt man die für  $u$  beobachteten Werthe  $A_0 - B$  nacheinander  $o_1, o_2, o_3, \dots$ , so sind nach jenem Paragraph und Gl. (27) die zur Bestimmung von  $a, b, c$  dienenden drei Normalgleichungen folgende:

$$[x x] a + [x y] b + [x z] c = [x o]$$

$$[y x] a + [y y] b + [y z] c = [y o]$$

$$[z x] a + [z y] b + [z z] c = [z o]$$

und diese Gleichungen werden entweder auf gewöhnliche Weise oder nach §. 26 aufgelöst.

**Beispiel.** Mit dem von Feiglstock in Wien bezogenen und mit der Zahl 38255 bezeichneten Naudet'schen Federbarometer der k. polytechnischen Schule in München hat der Verfasser in der Zeit vom 2. bis 6. October 1872 auf einer Reise ins bayerische Hochgebirge aus je 4 Beobachtungen folgende mittlere Werthe erhalten:

1) München	$B = 716,0$	$t = 17^{\circ}2$	$C$	$0_1 = - 0^{\text{mm}}0,4$
2) Grosshessellohe	712,6	18,3		$0_2 = - 0,16$
3) Sauerlach	708,1	19,6		$0_3 = - 0,26$
4) Holzkirchen	700,9	14,4		$0_4 = + 0,63$
5) Aibling	715,2	16,1		$0_5 = + 0,10$
6) Rosenheim	722,2	13,2		$0_6 = + 0,37$
7) Fischbach	722,7	15,1		$0_7 = + 0,09$

Hienach haben die beobachteten unabhängigen Veränderlichen  $x$ ,  $y$  folgende Werthe:

$x_1 = 17,2$ ;  $x_2 = 18,3$ ;  $x_3 = 19,6$ ;  $x_4 = 14,4$ ;  $x_5 = 16,1$ ;  $x_6 = 13,2$ ;  $x_7 = 15,1$   
 $y_1 = 44,0$ ;  $y_2 = 47,4$ ;  $y_3 = 51,9$ ;  $y_4 = 59,1$ ;  $y_5 = 44,8$ ;  $y_6 = 37,8$ ;  $y_7 = 37,3$

während alle  $z = 1$  sind und für die abhängigen Veränderlichen  $o_1$ ,  $o_2$ ,  $o_3 \dots$ , die in der letzten Spalte verzeichneten Werthe gefunden wurden. Rechnet man mit diesen Grössen die Coefficienten  $[xx]$ ,  $[xy] \dots$  aus und setzt sie in die vorstehenden Normalgleichungen ein, so gehen diese in folgende numerische Gleichungen über:

$$1883,72 a + 5267,37 b + 113,90 c = 8,547$$

$$5267,37 a + 15152,60 b + 321,80 c = 37,108$$

$$113,90 a + 321,80 b + 7,00 c = 0,790$$

aus denen folgende Werthe fliessen:

$$a = - 0,1401$$

$$b = + 0,0195$$

$$c = + 1,4919.$$

Es galt demnach für den genannten Federbarometer Anfangs October 1872 folgende Reductionsgleichung:

$$A_0 = B + 1,49 + 0,02 (760 - B) - 0,14 t.$$

Mit dieser Gleichung konnte man also damals die Ablesungen  $B$  am Federbarometer auf die ihnen entsprechenden, auf Null reducirten und in Millimetern ausgedrückten Quecksilberstände  $A_0$  zurückführen; bei den späteren Versuchen des Verfassers (December 1873) hatten sich die Constanten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  nicht unwesentlich geändert, wie es bei Federbarometern in der Regel geschieht.

Will man den mittleren Fehler  $m$  der beobachteten Werthe  $o_1$ ,  $o_2$ ,  $o_3 \dots$  ausdrücken, so hat man zuerst die Werthe  $u_1 = a x_1 + b y_1 + c$ ;  $u_2 = a x_2 + b y_2 + c$ ;  $u_3 = a x_3 + b y_3 + c \dots$ , hiermit dann die Fehler  $v_1 = u_1 - o_1$ ;  $v_2 = u_2 - o_2$ ;  $v_3 = u_3 - o_3 \dots$ , hieraus schliesslich  $[vv]$  und damit nach (30)

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{7-3}} = \frac{1}{2} \sqrt{0,0883} = \pm 0^{\text{mm}}0,443$$

zu berechnen. Dieser Werth sagt also, dass jede der oben aufgeführten Beobachtungen  $o_1$ ,  $o_2$ ,  $o_3 \dots$  um  $0^{\text{mm}}0,443$  zu gross oder zu klein sein kann. Wenn man nun bedenkt, dass jeder dieser Werthe aus 4 Beobach-



tungen hervorgegangen ist, so ist der mittlere Fehler der einzelnen Beobachtung nach den Formeln (5) und (9) S. 11 u. 12:

$$m' = m \sqrt{n} = \pm 0^{\text{mm}},0443 \sqrt{7} = \pm 0^{\text{mm}},1172.$$

2) Ueber die unmittelbare Bestimmung der Constanten  $a$ ,  $b$ ,  $c$  hat der Verfasser in seinen schon angeführten „Beobachtungen und Untersuchungen über die Eigenschaften der Aneroidbarometer“ folgendes mitgetheilt.

Die Standcorrection  $c$  wird nach Gl. (180) unmittelbar erhalten, wenn man den Federbarometer der Temperatur  $t = 0^{\circ}$  und dem Drucke  $A_0 = 760^{\text{mm}}$  Qu. aussetzt, denn es ist alsdann

$$c = 760 - B_0 \quad (182)$$

und es kann  $B_0$  am Aneroid abgelesen werden. Dieses Verfahren setzt einen Normalbarometer, eine Luftpumpe mit entsprechender Glocke, in der das Aneroid auf  $0^{\circ}$  abgekühlt werden kann, und schliesslich ein mit der Luftpumpe in Verbindung zu setzendes Quecksilbermanometer voraus. Hiemit kann die Constante  $c$  wie folgt gefunden werden. Das Aneroid wird in eine hinreichend weite und tiefe cylindrische Schüssel von Weissblech und mit dieser in eine zweite grössere mit Eis gefüllte Schüssel von gleichem Metall gestellt und dann in eine hinreichend grosse und dicke Metallglocke gebracht, die sich durch ein dickes Spiegelglas luftdicht abschliessen lässt. Die Glocke steht durch eine metallene Röhre mit einer Luftpumpe in Verbindung, und eine zweite Röhre verbindet diese Pumpe mit dem einen Schenkel eines aus zwei mit Quecksilber gefüllten Glasröhren bestehenden Manometers, dessen anderer Schenkel gegen die Atmosphäre offen war. Der Druck der letzteren wird am Normalbarometer, der Niveau-Unterschied in den Röhren des Manometers, welcher bei ungleichem Druck auf dessen Schenkel entsteht, an einem Kathetometer (einem lothrecht gestellten und mit Fernrohr versehenen genauen Massstab) abgelesen. Wenn hiebei die Temperatur des in der Metallglocke eingeschlossenen Aneroids nicht fortwährend genau auf  $0^{\circ}$  erhalten werden kann, weil nach und nach das in der Glocke eingeschlossene Eis schmilzt, so kann man die beobachteten sehr kleinen Abweichungen von  $0^{\circ}$  unbedenklich mit dem vorläufig bekannten Näherungswerth von  $a$  auf  $0^{\circ}$  reduciren. Der Verfasser benützte bei seinen Arbeiten  $a = -0,135$  und fand z. B. bei der Beobachtung Nr. 5 für den Federbarometer

Nr. I (38255) die Constante  $c = 760 - 758,59 = 1,41^{\text{mm}}$

Nr. II (38262) „ „ „  $c = 760 - 757,44 = 2,56,$

Nr. III (50700) „ „ „  $c = 760 - 759,76 = 0,24;$

Werthe, welche ziemlich mit den aus je 14 ganzen Beobachtungen abgeleiteten Mittelwerthen übereinstimmen.

Statt des vorhin beschriebenen complicirten Apparats zur Bestimmung der Standcorrection  $c$  hat der Verfasser eine sehr einfache und billige auf dem Princip der communicirenden Röhren beruhende Vorrichtung erfunden, welche gestattet, Drückungen von 0,8 bis 1,2 Atmosphären auf den Federbarometer auszuüben und zu messen, ohne dass dazu eine Luftpumpe oder

ein Quecksilberbarometer nöthig ist; leider hat der Mechaniker die Ausführung derselben über Gebühr verzögert, so dass sie in dieser Auflage noch nicht abgebildet und beschrieben werden kann.

Die Summe  $c + c'$  der Stand- und Theilungscorrection ergibt sich nach Gl. (180) unmittelbar, wenn man bei  $0^\circ$  Temperatur am Aneroid den Werth  $B_0$  abliest und am Normalbarometer den Luftdruck  $A_0$  bestimmt; denn es ist alsdann

$$c + c' = c + b (760 - B_0) = c + b m = A_0 - B_0. \quad (183)$$

Bei den eben beschriebenen Versuchen werden selbstverständlich  $A_0$  und  $B_0$  nicht bloss bei 760 mm Quecksilberdruck, sondern bei verschiedenen Drückungen über und unter dem einfachen Atmosphärendruck und bei der Temperatur des schmelzenden Eises bestimmt; es lässt sich also für jeden Versuch  $c + c' = s$  berechnen und  $c'$  entweder dadurch finden, dass man von der Summe  $s$  das schon bekannte Glied  $c$  abzieht, oder aus den zahlreichen Beobachtungen  $s_1, s_2, s_3, \dots$ , welche nach einander durch  $c + b m_1, c + b m_2, c + b m_3, \dots$  vorgestellt werden, die zwei Coefficienten  $b$  und  $c$ , welche allen Beobachtungen am besten entsprechen, mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Nach Seite 12 bis 15 unserer schon erwähnten Abhandlung über die Aneroidbarometer fanden wir die mittleren Werthe der Constanten  $b$  und  $c$  wie folgt: für das Instrument

Nr. I den Coefficienten  $b = 0,015$  und die Standcorrection  $c = 1,373$

Nr. II „ „ „  $b = 0,017$  „ „ „  $c = 2,530$

Nr. III „ „ „  $b = 0,017$  „ „ „  $c = 0,254$ .

Um die Wärmecorrectionen  $c''$  bei verschiedenen Temperaturen zu erfahren und zugleich den experimentellen Nachweis zu liefern, dass dieselben durch den Ausdruck  $c'' = -a t$  berechnet werden können, hat der Verfasser mit jedem seiner drei Aneroides durchschnittlich 90 vollständige Beobachtungen gemacht. Dieselben waren so angeordnet, dass der Gefäss- und die Federbarometer in und vor dem Arbeitszimmer in gleicher Höhenlage aufgestellt und folglich bei gleichem atmosphärischen Druck aber verschiedenen Temperaturen beobachtet werden konnten. Bei jeder dieser Beobachtungen wurden der Quecksilber- und die Federbarometer durch Klopfen mit der Hand erschüttert und jede Ablesung doppelt gemacht, das zweite Mal in der umgekehrten Reihenfolge, damit das Mittel den tatsächlichen Verhältnissen am besten entsprach. Da nun  $b$  und  $c$  bekannt sind, so kann man mit Hilfe jeder Beobachtung einen Werth von  $c''$  nach der Formel (180), nämlich

$$c'' = A_0 - (B + c + b (760 - A_0)) = a t \quad (184)$$

berechnen und aus diesem mit der bekannten Temperatur  $t$  den Wärmecoefficienten  $a$  finden. Unsere 90 Versuche ergaben für den Federbarometer

Nr. I den Coefficienten  $a = -0,132$

Nr. II „ „ „  $a = -0,135$

Nr. III „ „ „  $a = -0,128$ .

#### Der Goldschmid'sche Federbarometer.

Vergleicht man diese Werthe, so wie jene für  $b$  unter sich, man zu dem Schlusse, dass die Federbarometer gleicher Grösse Führung einer und derselben Fabrik Wärme- und Theilung haben, welche unter sich nicht oder nur sehr wenig verschieden

§. 255. Genauigkeit. Nach den Beobachtungen des Verfassers im Jahre 1872 am Wendelstein und 1873 am Hochgern in den Alpen gemacht wurden, haben starke Amplituden des Zeigers, der Druckunterschied erzeugt, stets Vergrösserungen der Standcorrection Folge, welche erst nach einigen Monaten bis auf einen bleib wieder verschwinden. So z. B. betrug die Standcorrection  $c$  des barometers Nr. II vor der am 12. September 1873 erfolgten Beobachtung 2,34 und unmittelbar nach derselben 2,95: dieselbe hat 0,61<sup>mm</sup> zugenommen; drei Tage später (17. Sept.) war die  $c$  0,47 und nach drei Monaten (20. und 21. December) auf 0,19, so dass von da an auf lange Zeit die Constante  $c = 2,53$ <sup>mm</sup> war. In gleichen Beobachtungen auch anderwärts gemacht wurden, es darauf zu denken, wie man dem Uebelstande rascher Aenderung der correction am besten begegnen könne: dieses geschieht aber da man bei Ermittlung grosser Höhenunterschiede stets nur dasselbe auf der obersten Station verwendet und dessen Standcorrection Tag und so lange durch Vergleichen mit einem keinen star differenzen ausgesetzten Normalaneroid bestimmt, bis diese Correction einen bleibenden Werth angenommen hat.

Wenn die eben geschilderten Erscheinungen nicht beständig der Verfasser auf Grund ausführlicher Versuche und Beobachtungen seine auf Seite 422 ~~genannte~~ Schrift berichtet, keinen Anstand behaupten, dass ~~gute aneroidische~~ Federbarometer bei richtiger die besten Reisebarometer zu ersetzen im Stande und daher in der Bequemlichkeit, die sie in Bezug auf Transport und Gebrauch in allen Fällen vorzuziehen sind. So aber muss dieses allgemeine Urtheil auf die Verwendung der Federbarometer innerhalb solcher Schichten, welche noch für technische Zwecke benützt werden beschränkt und der Gebrauch des Quecksilberbarometers für Höhen, welche über sehr grosse Niveaudifferenzen sich erstrecken, befürwortet

#### Der Goldschmid'sche Federbarometer.

§. 256. Beschreibung. Bei Betrachtung des Mechanismus des aneroidischen Aneroids, welcher die von der luftleeren Büchse ausgehenden Veränderungen des Luftdrucks auf den Zeiger übertragen hat, kann man sich nicht erwehren, dass derselbe sehr zusammengesetzt und Vereinfachung fähig sei. Diese Vereinfachung fand der Mechaniker Goldschmid in Zürich darin, dass er die fraglichen Aenderungen mittels einer Mikrometerschraube und zweier Hebel auf die Scala

Seit 1857 war J. Goldschmid unablässig bemüht, diesem Mechanismus die wirksamste Form zu geben, und er hat wohl seit 1869 erreicht, was damit zu erreichen sein dürfte. Die Ergebnisse seiner Bemühungen und einige Urtheile hierüber sind in der auf S. 422 angeführten kleinen Druckschrift zusammengestellt.

Die nachfolgende Beschreibung beruht zum Theil auf dieser Schrift, mehr aber noch auf der Beobachtung und Vergleichung zweier Aneroide (Nr. 61 und Nr. 62), welche der Verfasser für die geodätische Sammlung der k. polytechnischen Schule zu München am Ende des Jahres 1869 angeschafft hat. Die hier benutzten zwei Figuren sind dem Werke von Höltschl (S. 120 und 123) entlehnt.

In einem cylindrischen Gehäuse von der in Fig. 317 dargestellten Form

Fig. 317.



und Grösse befindet sich zunächst eine luftleere Büchse, welche aus dünnem Platinblech besteht und ganz und gar mit der im Naudet'schen Barometer (Fig. 315 und 316) übereinstimmt. Auf der wellenförmigen Decke steht hier wie dort ein kurzes Säulchen *s*, das den Aenderungen des Luftdrucks folgt, und mit diesem Säulchen ist ein in einer Stahlschneide *e* endigender Steg *i* verbunden. Auf dieser Schneide ruht lose ein erster Hebel *a*, der seinen Drehpunkt in einer dem Gehäusboden parallel laufenden, fast ohne Reibung in zwei Spitzen sich bewegenden Axe *d* hat, und dessen langer Arm *c* 1 bis in die Schlitzöffnung *ou* der Gehäuswand reicht. Hier trägt dieser Arm ein feines Stahlplättchen, in das ein horizontaler Strich (1) eingerissen ist. Es ist ohne Weiteres klar, dass, wenn der Luftdruck

abnimmt, also das Säulchen *s* und der Steg *i* steigen, der Hebel *a* ebenfalls steigen und die Marke 1 die Bewegung der Schneide *e* so vielmal vergrößert darstellen muss, als der lange Hebelsarm (*e* 1) grösser ist als der kurze (*e* *e*), nämlich fünfmal. Wenn demnach die Schneide um 1<sup>mm</sup> steigt, so hebt sich der Strich 1 um 5<sup>mm</sup>. Das Umgekehrte findet bei steigendem Luftdrucke statt, und man kann das Steigen und Fallen der Marke 1 an einer auf Elfenbein angebrachten Scala *k* ablesen, wovon 16 Theile = 10<sup>mm</sup> sind und folglich 1 Theil von  $\frac{1}{16}$ <sup>mm</sup> Länge einer Dosenbewegung von  $\frac{1}{16}$ <sup>mm</sup> entspricht. Der Nullpunkt dieser Scala liegt da, wohin der Strich 1 bei dem stärksten Luftdrucke (etwa 790<sup>mm</sup>) sinkt. Zum Ablesen dient eine Lupe *l*, welche sich mit ihrem Träger längs der Scala drehen und in ihm behufs richtiger Einstellung auf die Theilung verschieben lässt. Es würde aber nur eine rohe Messung der Aenderungen des Luftdrucks sein, wenn

Fig. 318.

sie nicht genauer geschehen könnte als die Scala *k* gestattet, und deshalb hat J. Goldschmid an seinem Federbarometer ein Schraubenmikrometer von folgender Construction angebracht. Bei *c* ist ein zweiter Hebel *b*, der stark federt und ebenfalls bis an die Schlitzöffnung des Gehäuses reicht, auf dem ersten festgenietet. An der sichtbaren Stirnseite trägt dieser Hebel gleichfalls einen horizontalen Strich (2), welcher, da der untere Hebelarm vorne etwas seitwärts gebogen ist, durch eine auf den oberen drückende Mikrometerschraube *m* in gleiche Linie mit dem Striche 1 gebracht werden kann. Diese Schraube hat ihre Mutter in einer an der cylindrischen Gehäuswand befestigten Hülse und wird mit Hilfe des Deckels derselben, welcher hier zugleich die Mikrometertrommel ersetzt, vor- und rückwärts gedreht. Die Schraubenganghöhe beträgt  $\frac{1}{4}$  Millimeter, die Trommel ist in 100 gleiche Theile getheilt, und bei 0 findet sich ein fester Zeiger zum Ablesen dieser

Theile. An dem ersten Hebel *a* ist bei *g* ein kleiner kupferner Bügel *h g* angelöthet, innerhalb dessen lichter Höhe der zweite Hebel sich bewegen kann und an dessen oberen Steg dieser vermöge seiner Federkraft anschlägt, wenn die Schraubenspitze es gestattet. Die genannte lichte Höhe des Bügels ist so bestimmt, dass die vom ersten Hebel unabhängige, an dem Striche 2 beobachtete Amplitude des zweiten Hebels gerade 1 Theil der Elfenbeinscala und somit  $\frac{1}{5}$  Millimeter beträgt. Da die Spitze der Schraube *m* von der Nietstelle *c* gerade um  $\frac{2}{5}$  der Länge des zweiten Hebels entfernt ist, so drückt eine volle Schraubenumdrehung den Strich 2 um  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{8}$  mm herab, und es kann folglich jeder Scalentheil durch die Schraube in Hundertel zerlegt werden, so dass, da ein solcher Theil  $\frac{1}{8}$  mm Bewegung der Büchse *b* entspricht, deren senkrechte Bewegungen theoretisch bis auf  $\frac{1}{800}$  mm genau gemessen werden können. Damit jedoch die Ablesungen an der Mikrometerschraube denen an der Hauptscala unmittelbar beigelegt werden können, ist es selbstverständlich nöthig, die Mikrometervorrichtung so zu berichtigen, dass die Trommel Null zeigt, wenn die Marken 1 und 2 mit einander und mit einem Theilstriche der Hauptscala zusammentreffen. (Diese Anordnung entspricht ganz der in §. 81 beschriebenen des Schraubenmikroskops, dem das in Rede stehende Mikrometer nachgebildet ist.)

Auf der Hauptscala bezeichnen die dort angebrachten Zahlen, wie man sofort sieht, nicht die ganzen Theile, welche die Marken 1 und 2 durchlaufen können, sondern die Hundertel dieser Theile, welche die Trommel der Mikrometerschraube angibt: deshalb steht bei dem fünften Theilstriche nicht 5, sondern 500, bei dem zehnten nicht 10, sondern 1000 u. s. w. Da man Zehntel der Trommeltheile noch schätzen kann, so werden auch die Ablesungen am Federbarometer bis auf diese Zehntel angegeben, und es entspricht somit dem in der Fig. 317 dargestellten Stande der Marken 1 und 2 eine Ablesung von 506,3 Trommeltheilen.

Damit diese Trommeltheile (Aneroidtheile) in Millimeter der Quecksilbersäule übersetzt werden können, ist es nöthig, bei verschiedenen Drückungen der Luft die Ablesungen an einem Federbarometer und an einem Quecksilberbarometer mit einander zu vergleichen und hiernach eine Tabelle anzufertigen, welche gestattet, von einer Scala zur anderen überzugehen. Diese Tabelle wird auch jedem Instrumente beigegeben und ist so angeordnet, dass man sofort den auf 0° reducirten Stand des am gleichen Orte aufgestellt gedachten Quecksilberbarometers findet. Da es nicht in der Hand des Mechanikers liegt, je zwei Federbarometer mit ganz gleichem Gange herzustellen, so kann auch eine Tafel die andere nicht ersetzen. An unseren äusserlich völlig übereinstimmenden Goldschmid'schen Aneroiden Nr. 61 und 62 entsprachen z. B. im Januar 1872 folgende Werthe einander:

600 Aneroidtheile entspr. b. Nr. 61 = 766,6 mm u. b. Nr. 62 = 791,6 mm Quecks.							
1000	"	"	"	718,6	"	736,5	"
1500	"	"	"	661,0	"	671,4	"
2000	"	"	"	607,5	"	610,8	"

**§. 257. Gebrauch.** Die Einstellung des Goldschmid'schen Federbarometers ist nicht so einfach als die des Naudet'schen, welche eigentlich nur in richtiger Aufstellung und kleiner Erschütterung des Instruments besteht. Hier ist das Barometer mit der linken Hand so vor das Auge zu halten, dass die Axe des Gehäuses lothrecht steht und die Marken 1 und 2, sowie die Zahlen auf der Scala durch die Lupe deutlich gesehen werden können, welche sich vor beiden befindet; gleichzeitig fasst man mit der rechten Hand den Gehäusendeckel an, der zugleich Trommel der Mikrometerschraube ist. Das Drehen dieser Trommel hängt von der gegenseitigen Stellung der Marken 1 und 2 ab, und diese Stellung kann eine dreifache sein: entweder nämlich steht 2 über 1, wie in Fig. 317, oder es steht 2 unter 1, oder es treffen beide Marken auf einander, wie in Fig. 318.

Im Falle der Fig. 317 wird die Trommel von links nach rechts (in der Richtung der Bezifferung) und im anderen Falle entgegengesetzt (im Sinne des Pfeils) gedreht, bis der Fall in Fig. 318 eintritt, in welchem es einer Drehung nicht mehr bedarf. Man kann diese Drehungsrichtungen leicht dem Gedächtnisse einprägen, wenn man bedenkt, dass das Drehen von rechts nach links (mit dem Pfeil) ein Nachlassen des Drucks auf den zweiten Hebel und folglich ein Steigen desselben zur Folge hat, während das Drehen von links nach rechts (gegen den Pfeil) ein Anziehen der Schraube und folglich ein Fallen der Marke 2 bewirkt. Die Drehung im Sinne des Pfeils kann dem Instrumente niemals schaden, da sie nur die Schraubenspitze weiter vom zweiten Hebel entfernt, die entgegengesetzte Drehung aber, wenn sie zu weit geht, kann die Federkraft dieses Hebels schwächen und folglich schädlich wirken. Für die Erhaltung der Elasticität des genannten Hebels ist es immer gut, wenn die Einstellung des Barometers von oben nach unten, d. h. vom Falle der Fig. 317 aus erfolgt; deshalb soll man zuerst die Trommel im Sinne des Pfeils drehen, bis die Marke 2 über 1 steht (wenn es nicht ohnehin schon der Fall ist), und dann das Zusammenfallen der Indexstriche durch Anziehen der Schraube, d. i. durch Drehen von links nach rechts bewirken. Für einen Transport des Instruments auf einem Wege von bedeutenden Steigungen oder Gefällen, also namentlich auch bei Besteigung eines Bergs ist das Instrument in der Art abzustellen, dass man es umkehrt und die Mikrometerschraube in der Richtung des Pfeils so lange zurückdreht, bis die beiden Hebel mit ihren Marken am obersten (jetzt untersten) Ende (o) des Schlitzes o u und der höchsten Bezifferung der Scala gegenüberliegen. In dieser Lage werden sie durch die vorgeschobene Schliesse n erhalten.

**§. 258. Genauigkeit.** Dass der Goldschmid'sche Federbarometer schwieriger als jeder andere zu behandeln ist, wurde bereits erwähnt. Dazu kommt, dass die Trommel oft um 2 bis 3 Striche verstellt werden kann, ohne das Zusammentreffen der Marken merklich zu ändern, und nicht selten zittert der zweite Hebel so, dass seine Stellung gegen den ersten nur schwer richtig erkannt werden kann. Lassen schon diese Thatsachen schliessen,

dass die Genauigkeit des vorliegenden Instruments keine sehr grosse sein kann, so wird dieses Urtheil noch weiter unterstützt durch die Beobachtung, dass die Temperatur einen grossen, jedoch nicht leicht festzustellenden Einfluss auf die Angaben des Goldschmid'schen Federbarometers ausübt. Jeder Käufer eines solchen Instruments erhält zwar vom Verfertiger ausser der bereits genannten Standtabelle noch eine zweite Tabelle, welche die an jeder Ablesung anzubringenden Wärmecorrectionen enthält, allein man wird selten finden, dass diese Verbesserungen mit denen ganz übereinstimmen, welche man nach eigenen Vergleichen mit dem Quecksilberbarometer für nothwendig halten würde. So viel scheint indessen richtig zu sein, dass niedrige Temperaturen fast gar keinen Einfluss auf den Stand des Barometers ausüben, während bei höheren (über  $10^{\circ}$ ) dieser Einfluss sehr stark sich geltend macht und nicht bloss der Wärmezunahme proportional ist. Nach einer Temperaturtabelle von Goldschmid zum Aneroid Nr. 216 ist die (etwas abgerundete) Wärmecorrection von 0 bis  $10^{\circ}$  C = 0, von 10 bis  $20^{\circ}$  beträgt sie minus 1 bis 15p, von 20 bis  $30^{\circ}$  minus 15 bis 41p, von 30 bis  $40^{\circ}$  minus 41 bis 96p, während Höltschl für die gleichen Temperaturunterschiede beziehlich 0, minus 1 bis 11p, minus 11 bis 32p und minus 32 bis 70p fand. Des Verfassers Beobachtungen ergaben ähnliche Resultate, aber kein bestimmtes Gesetz für die Wärmecorrection; er zieht deshalb und aus den anderen bereits angegebenen Gründen vorerst noch für nivellistische Arbeiten, welche Ingenieure behufs genereller Tracirung von Strassen und Eisenbahnen vorzunehmen haben, das Naudet'sche Federbarometer dem Goldschmid'schen vor, während er glaubt, dass das letztere für touristische Zwecke genügt.

---

## Sechster Abschnitt.

### Instrumente zum Geschwindigkeitsmessen.

§. 259. Nach der Bestimmung des §. 2 ist hier nur von denjenigen Instrumenten und Apparaten die Rede, welche zur unmittelbaren Messung der Geschwindigkeiten fliessender Gewässer, worunter wir die Gerinne, Bäche, Flüsse und Ströme begreifen, dienen. Alle kleineren Wasserläufe, wie die der Quellen, Röhrenleitungen u. s. w. sind von unseren Betrachtungen ausgeschlossen, da die an ihnen vorzunehmenden Messungen ganz und gar in das Gebiet der Hydraulik gehören. Hierdurch ist die vorliegende Aufgabe schon ziemlich beschränkt; sie wird es aber noch mehr, wenn wir uns, wie hier, nur mit denjenigen Hilfsmitteln befassen, wodurch die gleichförmigen Geschwindigkeiten in dem freien Strome eines der oben genannten



grösseren Wasserläufe gemessen werden. Es werden demnach an diesem Orte auch alle jene Messungen nicht berücksichtigt, durch welche man die Geschwindigkeit des Wassers beim Abflusse durch Schleusen, Wehre und andere Flussbauwerke erfährt.

In den nachfolgenden Beschreibungen und Erörterungen kommen einige Ausdrücke vor, deren Bedeutung vor Allem erklärt werden muss.

Das Wasser charakterisirt sich bekanntlich wie jeder tropfbarflüssige Körper durch die leichte Verschiebbarkeit seiner Theilchen; es hat fast gar keinen Zusammenhang. Wenn es sich aber bewegt, so reihen sich diese Theilchen so an einander, dass man sogar von einem Wasserfaden spricht. Darunter hat man sich jedoch nichts Anderes vorzustellen als die ununterbrochene Reihe der aufeinanderfolgenden Wassertheilchen. Der Weg nun, den ein solches Wassertheilchen in der Zeiteinheit zurücklegt, heisst die Geschwindigkeit des Wasserfadens. Haben in dem Querschnitte eines Wasserlaufs alle Wasserfäden gleiche Geschwindigkeit, so wird die Geschwindigkeit des Wasserfadens auch die Geschwindigkeit des Wassers in dem ganzen Querschnitte sein, und das Product aus diesem Querschnitte in die Geschwindigkeit wird die Wassermenge darstellen, welche in der Zeiteinheit durch den gedachten Querschnitt fliesst.

Die Wasserfäden, welche einen Bach, Fluss oder Strom bilden, haben, wie die Erfahrung lehrt, zwar unter sich in einem und demselben Querschnitte verschiedene Geschwindigkeiten, aber man darf für practische Zwecke die Geschwindigkeit jedes einzelnen Wasserfadens und auch einer grösseren Anzahl neben einander liegender Fäden so lange als gleichförmig ansehen, als sich der betrachtete Querschnitt an einer regelmässig beschaffenen Stelle des Wasserlaufs und ziemlich entfernt von allen vorspringenden Gegenständen und Bauwerken befindet, welche eine Aufstauung des Wassers bewirken.

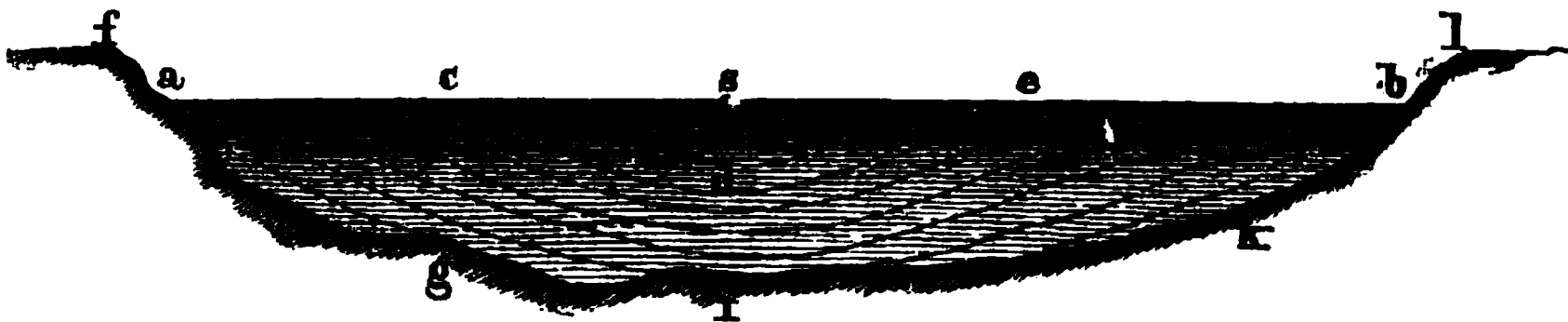
In einem Gerinne oder regelmässigen Flussbette nimmt die Geschwindigkeit der Wasserfäden von der Mitte gegen die Ufer und von der Oberfläche gegen den Boden hin ab; beides in Folge der Widerstände, welche die Wände des Gerinns oder des Flussbetts veranlassen. Der Wasserfaden eines Flusses nun, welcher die grösste Geschwindigkeit besitzt, heisst dessen Stromstrich. Bei Wasserläufen in Gerinnen von symmetrischem Querschnitte und mässigem Gefälle wird dieser Stromstrich nahezu in der Mitte der Wasseroberfläche liegen und den Ufern parallel laufen; in weniger regelmässigen Betten aber wird er von dieser Lage und Richtung abweichen; in starken Flusskrümmungen liegt er sogar oft ganz an dem concaven Ufer.

Von dem Stromstriche ist die Stromrinne zu unterscheiden, worunter man die Verbindungslinie aller auf einander folgenden tiefsten Stellen eines Flussbetts versteht. In regelmässig beschaffenen Flüssen liegen die Stromrinnen und der Stromstrich fast immer lothrecht über einander; in unregelmässigen aber nur selten. Denkt man sich einen Fluss durch eine vertical-

stehende Cylinderfläche geschnitten, deren Leitlinie die Stromrinne ist, so gibt dieser Schnitt das Längenprofil des Flusses. Dieses Profil stellt zwei Linien dar, wovon die eine der Sohle des Flussbetts und die andere der Oberfläche des Wassers angehört. Die letztere bestimmt das Gefäll des Flusses, d. h. die Neigung des Wasserspiegels gegen den Horizont. Drückt man das Gefäll durch die Tangente des Neigungswinkels aus, so heisst dieser Ausdruck das relative Gefäll des Flusses; gibt man es aber durch die Höhe an, auf welche sich der Wasserspiegel in einer bestimmten Entfernung senkt, so ist diese Höhe das absolute Gefäll des Flusses für diese Entfernung. Hat z. B. ein Fluss auf 1000 Meter Länge 8 Decimeter Gefäll, so ist  $0^m,8$  sein absolutes Gefäll für  $1000^m$  und  $0,0008$  sein relatives Gefäll. Es versteht sich von selbst, dass man aus dem relativen Gefälle sofort das absolute für jede beliebige Entfernung und in jedem beliebigen Masse findet.

Die geometrische Gestaltung eines Flusses wird erst durch seine Querprofile zur Anschauung gebracht, d. i. durch die Schnitte verticaler, zur Stromrichtung senkrecht stehender Ebenen mit der Wasseroberfläche und der Wandung des Flussbetts. Denkt man sich in einem solchen Profile von einem beliebigen Punkte der Wasserlinie ein Loth bis zur Terrainlinie gezogen, so ist erfahrungsgemäss in jedem tiefer gelegenen Punkte dieses Loths die Geschwindigkeit des Wassers etwas geringer als in den höheren Punkten; die Abnahme der Geschwindigkeit nach dieser Richtung ist aber nicht so bedeutend als in den beiden von dem Stromstriche ausgehenden und nach den Ufern hinlaufenden Richtungen. Denkt man sich ferner in jedem Punkte eines Querprofils die Geschwindigkeit des daselbst durchgehenden Wasserfadens bestimmt und sucht man in einem solchen Profile alle jene Punkte auf, deren Wasserfäden gleiche Geschwindigkeit haben, so stellen die Verbindungslinien dieser Punkte Curven dar, welche sich (wie die Linien a i b, c d e u. s. w. in Fig. 319 um den Schnittpunkt des Strom-

Fig. 319.

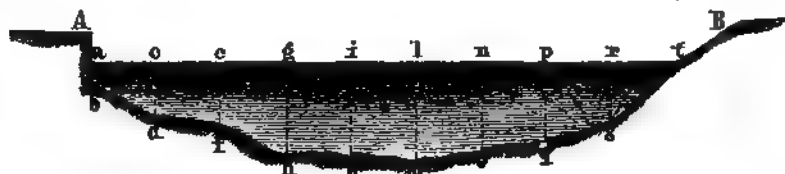


strichs (s) ähnlich herumziehen, wie die Jahrringe eines Holzquerschnitts um den Mittelpunkt desselben.

Wegen der Veränderlichkeit der Geschwindigkeit in den einzelnen Wasserfäden eines Querschnitts ist die in der Zeiteinheit abfließende Wassermenge sehr schwer genau zu bestimmen. In der Praxis begnügt man sich aber mit einem Näherungswerthe, der sich dadurch ergibt, dass man, wie in Fig. 320, mittels lothrechter Linien a b, c d, e f... das ganze Querprofil

in trapezförmige Theile *a b c d*, oder u. s. w. zerlegt, in der Mitte (1, 2, 3 . . .) jedes dieser Theile die Geschwindigkeit misst und letztere mit der zugehörigen Trapezfläche multiplicirt. Auf diese Weise erhält man die durch die

Fig. 320.



einzelnen Abtheilungen des Querprofils fließenden Wassermengen; werden dieselben addirt, so hat man die Gesamtwassermenge, welche in der Zeiteinheit durch das ganze Profil abfließt. Wenn alle Messungen mit der nöthigen Vorsicht und Umsicht geschehen, und wenn namentlich zur Geschwindigkeitsmessung der in §. 268 beschriebene und gehörig rectificirte Woltman'sche Flügel angewendet wird, so lässt sich die Wassermenge eines Flusses bis auf den hundertsten Theil richtig bestimmen.

Zur Messung der Geschwindigkeit des fließenden Wassers gibt es eine sehr grosse Anzahl von Werkzeugen; wir werden aber nur diejenigen betrachten, welche sich entweder durch ihre Einfachheit oder durch ihre Leistungen vor den übrigen empfehlen. Zu ersteren rechnen wir die Schwimmkugel, den Stromquadranten und die Pitot'sche Röhre, zu letzteren den Woltman'schen oder hydrometrischen Flügel.

#### Die Schwimmkugel.

§. 260. Die Benützung eines schwimmenden Körpers zum Messen der Geschwindigkeit des Wassers in Flussbetten und Canälen stützt sich auf die Voraussetzung, dass sich der schwimmende Gegenstand mit derselben Geschwindigkeit wie das Wasser bewege. Diese Voraussetzung ist aber der Erfahrung zur Folge nur dann richtig, wenn auf den Schwimmer keine anderen Kräfte einwirken als diejenigen, welche von ihm und dem bewegten Wasser ausgehen. Darum muss, wenn mit einer schwimmenden Kugel die Geschwindigkeit des Wassers in der Bahn, welche sie durchläuft, annähernd richtig gemessen werden soll, nicht nur die eigene Bewegung, welche sie beim Einlegen in den Fluss erhält, an der Stelle, wo die Messung beginnt, schon wieder null geworden sein; sondern auch jeder Luftzug oder Wind, welcher die Bewegung der Kugel verzögern oder beschleunigen könnte, vermieden werden. Diese Forderung lässt sich strenge nur dadurch erfüllen, dass man bei merklichem Winde gar nicht misst, annähernd aber dadurch, dass man der Schwimmkugel ein Gewicht ertheilt, welches sie gerade bis auf ihren Durchmesser in das Wasser einsinken lässt. Der Luftzug, welcher nun nicht mehr unmittelbar auf die Kugel wirken kann, kommt alsdann nur noch insofern in Betracht, als er auf die obere Wasserschicht einwirkt.

rindigkeitsmessen.

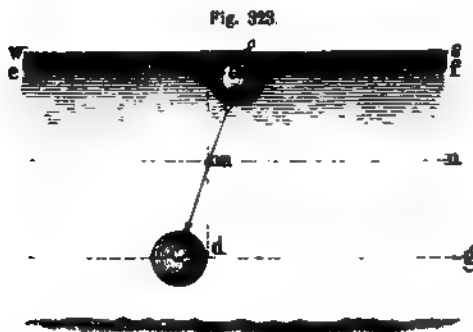
et, wenn man die Schwimmkugel  
welcher man ihren Lauf beob-  
urchläuft, hat sie Zeit genug die

Holz oder Blech; im letzteren  
auch aus Kupfer- oder verzinktem  
rischen 1 und 3 Decimeter. Sind  
ht ganz in das Wasser einsinken.  
Stelle mit eisernen Kloben, die  
ne nach innen sich erweiternde  
werden durch Sand, Schrot oder  
verschliessende Oeffnung (b) ein-  
füllen lassen, so schwer ge-  
macht, dass sie tief genug ein-  
sinken. Gegenüber dieser Oeff-  
nung oder der Beschwerung  
kann man nach Fig. 321,  
welche den Durchschnitt einer  
Schwimmkugel vorstellt, einen  
kleinen Blechkegel (c) auf-  
setzen, der über das Wasser  
vorragt und dazu dient, die  
önnen. Eine reingehaltene Blech-  
indessen auch ohne diesen Kegel  
oder in Ermangelung dessen, an  
inen kleinen Ring an, um diese  
itzen diesen Ring zum Anbinden  
er Kugel folgt und sie am Ende  
dem Wasser zu nehmen. Eine  
örungen, weshalb es besser ist,  
messungen dafür zu sorgen, dass  
irks auf eine andere als die eben

st sehr einfach. Man steckt an  
igkeit gemessen werden soll, nach  
parallele Linie von 50 bis 100  
a' und b, b' Fig. 322 in einer  
h. in einem Querprofile stehen.  
oberen und unteren Ende der  
indigkeitsmessung vor sich. Es  
r oberhalb des ersten Querprofiles  
aus auf einer Secundenuhr der  
h dieses Profil schwimmt. Hier-  
ie Kugel schwimmt nach b' und



Erfahrung gut geheissene Regel zu halten, nach welcher in regelmässig beschaffenen Gerinnen die mittlere Geschwindigkeit  $v'$  um 15 bis 20 Procent



geringer angenommen werden darf als die grösste Geschwindigkeit  $v$  des Stromstrichs, wonach also  $v' = 0,85 v$  bis  $0,80 v$  und die Wassermenge gleich dem Product aus der mittleren Geschwindigkeit ( $v'$ ) und dem Wasserquerschnitte ( $q$ ) ist.

Der Coefficient, womit die Geschwindigkeit  $v$  im Stromstriche zu multipliciren ist, um die mittlere  $v'$  zu erhalten,

ändert sich mit der Grösse des Wasserquerschnitts, dem Gefälle des Wasserspiegels, der Beschaffenheit des Flussbetts u. s. w. und muss, wenn man öfter von ihm Gebrauch machen will, für jeden Fluss oder Bach besonders bestimmt werden, was mit Hilfe des Woltman'schen Flügels geschehen kann.

#### Der Stromquadrant.

§. 261. Befestigt man an einem Faden eine Kugel, welche specifisch schwerer ist als Wasser, und hält dieselbe in einen Fluss, so wird der Faden in einer dem Stromstriche parallelen Verticalebene um einen gewissen Winkel von der lothrechten Richtung abweichen, weil die Kugel in Folge des Wasserstosses fortzuschwimmen, wegen ihres Gewichts aber zu sinken sucht. Dieser Winkel wächst unter übrigens gleichen Umständen in bestimmter Weise mit der Geschwindigkeit des stossenden Wassers; kann man ihn daher messen, so ist hierdurch ein Mittel geboten, die Geschwindigkeit eines Flusses zu bestimmen. Die Vorrichtung zum Messen des genannten Winkels hat folgende Bedingungen zu erfüllen:

- 1) muss sie sich an einer unverrückbaren Stelle (auf einem Stage oder Kahne) festmachen lassen;
- 2) muss sie einen Gradbogen besitzen, der in die Verticalebene der Wasserfäden gestellt werden kann; und
- 3) muss dieser Bogen vertical so gedreht werden können, dass der Nullpunkt der Theilung in das Loth kommt, welches durch seinen Mittelpunkt geht.

Alle diese Bedingungen erfüllt der in Fig. 324 dargestellte Stromquadrant, den wir vor längerer Zeit für die hiesige polytechnische Schule anfertigen liessen. Der Gradbogen (A B), welcher aus Messing besteht und 20<sup>m</sup> Halbmesser hat, lässt sich an einem hölzernen Schaft (D), der mit einer Schraube (M) auf einem Brette befestigt werden kann, in horizontalem Sinne drehen, wenn die Druckschraube J geöffnet ist; und er kann

adrant.

bewegt werden. Die  
Zirkelgewinde G, und d  
E und der ihr entgegen  
ngen kann die mit der  
hrenlibelle (L) zum Ei  
em Instrumente die Luf  
Theilung in der Vertica

k.

geht. Die Kugel (K) v  
ache Versuche zeigten,  
weck ein zu geringes  
zwei Theilen zusammen  
weit ausgedreht, bis s  
richte und Umfange l  
rügt sehr nahe 87,5 Mi  
n Wasser 290 Gramm.

mit ein spezifisches Gewicht von 2,55. Der Faden, womit die Kugel an dem Gradbogen befestigt wird, bestand an unserem Instrumente früher aus einer dünnen Darmsaite, gegenwärtig aber ist er ein Florettfaden. Wir ziehen diesen Faden der Saite deshalb vor, weil sich diese durch die Bewegung längs des Gradbogens in sehr kurzer Zeit auftrennt und dadurch das Ablesen des Neigungswinkels sehr erschwert.

§. 262. Theorie des Stromquadranten. Wir denken uns jetzt den eben beschriebenen Quadranten so über ein regelmässig fließendes Wasser gestellt, dass

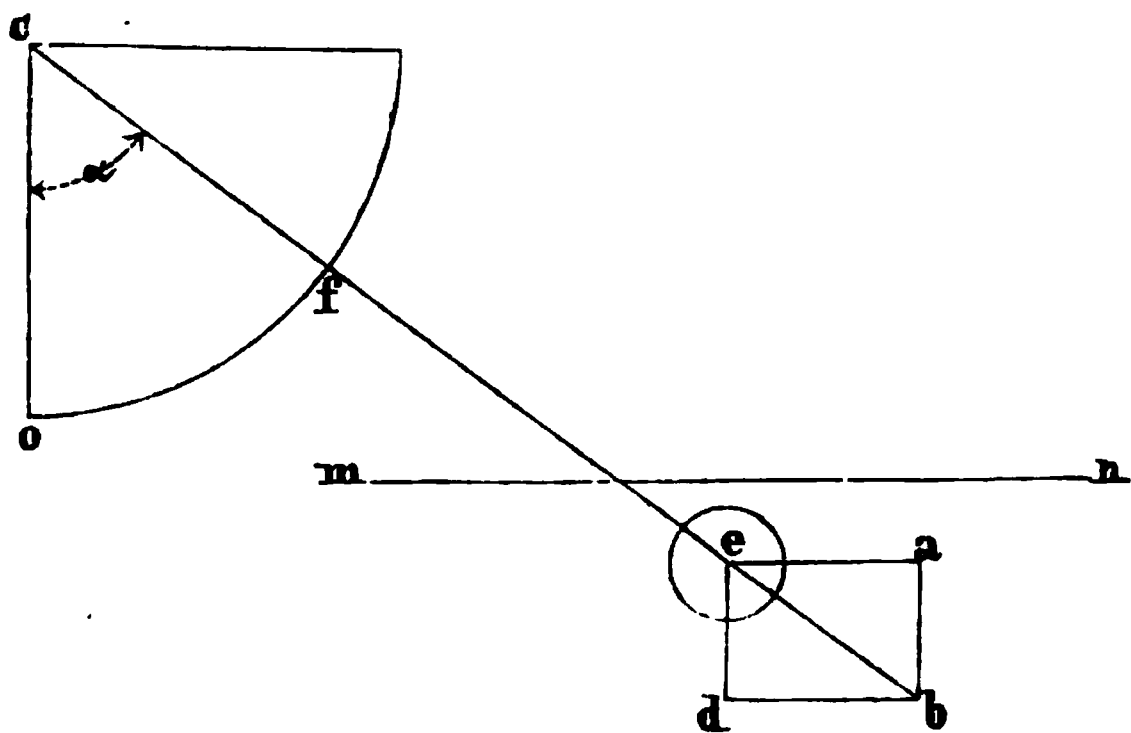
1) seine Ebene mit der Richtung des Stromstrichs parallel und lothrecht ist; dass

2) der Halbmesser, welcher durch den Nullpunkt der Theilung geht, vertical steht; und dass sich

3) die Kugel bei der stärksten Anspannung des Fadens noch ganz unter Wasser befindet.

Die erste dieser drei Forderungen ist erfüllt, wenn der angespannte Faden genau an der Ebene des Gradbogens liegt; die zweite, wenn die vorher berichtigte Libelle einspielt; und die dritte, wenn die Kugel sich nicht bis an die Oberfläche des Wassers erhebt. Diese dritte Forderung ist deshalb nöthig, weil man in dem Falle, wo die Kugel sich bis an die Oberfläche des Wassers erhebt, nicht sicher sein kann, ob sie nicht noch höher steigen und folglich den Winkel  $\alpha$  vergrößern würde, wenn der Wasserstand höher wäre. Sollte der Fall eintreten, dass die Kugel an den Wasserspiegel gelangt, so muss der Faden verlängert werden, was durch das

Fig. 325.



Zäpfchen, womit er im Mittelpunkte des Gradbogens festgehalten wird, leicht geschehen kann.

Nach diesen Voraussetzungen führen wir folgende Bezeichnungen ein. Es sei mit Bezug auf die Fig. 325:

$\alpha$  der Verticalwinkel, welchen der Faden  $c f$  mit dem lothrechten Halbmesser  $c o$  bildet;





Versuch Nr.	Stelle Nr. I.		Stelle Nr. II.		Stelle Nr. III.		Stelle Nr. IV.	
	$v_1$	$\alpha_1$	$v_2$	$\alpha_2$	$v_3$	$\alpha_3$	$v_4$	$\alpha_4$
1	1',472	40 10'	2',052	80 10'	2',853	140 28'	3',920	250 20'
2	1,480	40 6'	2,104	80 22'	2,807	140 23'	3,895	250 5'
3	1,502	40 12'	2,033	80 13'	2,886	140 10'	3,915	250 8'
Mittel	1',485	40 9'	2',063	80 15'	2',819	140 20'	3',910	250 11'
Constante	$k_1 = 5',502$		$k_2 = 5',418$		$k_3 = 5',634$		$k_4 = 5',704$	

Mittelwerth der Constanten für unser Instrument:

$$k = \frac{1}{4} (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) = 5',564 \text{ bayer.} = 1^m,624.$$

Ueber diesen Coefficienten ist noch zu bemerken, dass er nach unseren Versuchen nur für die hier angegebene Geschwindigkeitsgrenze gilt, da für grössere Geschwindigkeiten als 1 Meter in der Secunde die Angaben für den Ablenkungswinkel zu sehr schwanken, als dass sich daraus ein zuverlässiger Schluss über die Geschwindigkeit des Wassers ziehen liesse. Ueberhaupt lehren unsere Beobachtungen wiederholt, dass der Stromquadrant zu genauen Messungen sich nicht eignet, und es ist dieses begreiflich, wenn man bedenkt, dass erstens die Strömung des Wassers in einem Gerinne auch da, wo man sie dem äusseren Anscheine nach für gleichförmig erklärt, in dem mathematischen Sinne es doch nicht ist, und dass zweitens die Kugel des Quadranten jede auch noch so geringe Störung des Wasserlaufs durch eine Bewegung des Fadens nach der Länge oder zur Seite der Instrumentenebene anzeigt. Da sich nun die Angabe des Quadranten immer nur auf den Augenblick bezieht, in welchem man die Lage des Fadens beobachtet, so kann gerade in diesem Momente die Geschwindigkeit und folglich auch der Ablenkungswinkel sehr merkbar grösser oder kleiner sein als die mittlere Geschwindigkeit und der ihr zugehörige Winkel. Darum sind nach unserer Meinung diejenigen Geschwindigkeitsmesser die besten, welche die in einer längeren Zeit vom Wasser ausgeübten Stösse in sich aufnehmen und ihre mittlere Wirkung angeben, wie dieses z. B. bei dem Woltman'schen Flügel der Fall ist, der ohne Zweifel das vorzüglichste Instrument seiner Art ist.

Zu dem hier berührten Uebelstande des Stromquadranten kommt noch ein anderer, nämlich der, dass man ihn nur zu Messungen gebrauchen darf, bei welchen die Kugel, während sie dem Stosse des Wassers ausgesetzt ist, nicht tief unter der Oberfläche des letzteren schwebt, damit durch den Stoss auf den Faden keine Biegung desselben eintritt, wodurch die Angabe des Ablenkungswinkels noch weit unsicherer würde als in dem ersten Falle. Man hat zwar versucht, die in Rede stehende Biegung des Fadens in Rechnung zu bringen<sup>1</sup>; allein es steht der Aufwand von Mühe, welchen diese

<sup>1</sup> Man sehe Gerstner's Handbuch der Mechanik, Prag 1832, Bd. 2, S. 307, §. 229 u. ff.

Rechnung erfordert, durchaus in keinem Verhältniss zu dem dadurch erzielten Erfolge.

Wenn wir nun gleichwohl dem Stromquadranten hier eine Stelle angewiesen haben, so geschah es in der Erwägung seiner Einfachheit und des Umstands, dass er besser als die Schwimmkugel das Messen der Geschwindigkeit an verschiedenen Stellen eines Querprofils gestattet.

Zur Erleichterung der Berechnung der Geschwindigkeiten aus den beobachteten Ablenkungswinkeln fügen wir am Schlusse dieses Buchs eine Tabelle (Nr. XVII) bei, welche sowohl  $\sqrt{\tan \alpha}$  als auch  $\log \sqrt{\tan \alpha}$  für fast alle vorkommenden Werthe von  $\alpha$  liefert, und mit der man folglich, sobald  $k$  bestimmt ist, die Geschwindigkeit  $v$  durch eine einfache Multiplication finden kann.

§. 264. Prüfung und Berichtigung. Der Gebrauch des berichtigten Stromquadranten ergibt sich aus dem Vorhergehenden von selbst; es ist daher hier nur noch Einiges über seine Prüfung und Berichtigung beizufügen. Die Prüfung hat sich über folgende Fragen zu erstrecken:

- 1) ob der Gradbogen die nöthigen verticalen und horizontalen Drehungen gestattet;
- 2) ob der Nullpunkt der Theilung in dem durch den Kreismittelpunkt gehenden Lothe liegt, wenn die Libelle einspielt; und
- 3) ob die Kugel ein passendes specifisches Gewicht und ihr Faden eine hinreichende Länge hat.

Zu 1. Da wegen des Schwankens der Kugel der Gradbogen nicht fein getheilt zu sein braucht, so genügt auch eine einfache Untersuchung der Theilung mittels des Zirkels; und was die Drehungen betrifft, welche das Instrument zulassen muss, so sind dieselben in §. 261 aufgezählt und leicht zu beurtheilen. Sollte das Zirkelgewind ( $G$ ), um welches die grobe Verticalbewegung stattfindet, nicht genug Reibung besitzen, um dem Gewichte des Gradbogens das Gleichgewicht zu halten, so darf man nur mit dem Schlüssel, der dazu gehört, die rechtseitige Gewindscheibe stärker anziehen.

Zu 2. Um die Libellenaxe gegen den Halbmesser, der durch den Nullpunkt des Gradbogens geht, senkrecht zu stellen, befestige man den Stromquadranten auf einem erhöhten Brette, stelle die Ebene des Gradbogens vertical und drehe denselben mit der Schraube  $E$  so, dass der Faden, woran die Kugel frei in der Luft hängt, den Nullpunkt der Theilung berührt. Ist hiermit der Halbmesser  $oc$  lothrecht gestellt und hat man die Libelle, wenn es nicht ohnehin schon der Fall war, durch ihre Stellschraubchen  $a, a'$  zum Einspielen gebracht, so ist die zweite Untersuchung vollzogen.

Zu 3. Es lässt sich nach unseren Erfahrungen behaupten, dass es gut sei, wenn man sich zu einem Stromquadranten mehrere Kugeln von verschiedenem specifischem Gewichte machen lässt und davon die leichteren bei geringeren und die schwereren bei grösseren Geschwindigkeiten ver-

wendet: es wird dann der Ablenkungswinkel  $\alpha$  weder bei kleinen Geschwindigkeiten sehr klein, noch bei bedeutenden Geschwindigkeiten sehr gross. Wie viel aber das specifische Gewicht der Kugeln in den einzelnen Fällen betragen soll, ist noch nicht ermittelt; wir glauben jedoch, dass es nur bei Geschwindigkeiten bis zu  $0^m,75$  in der Secunde dem des Elfenbeins (1,825) gleich sein dürfe, für Geschwindigkeiten zwischen  $0,75$  und  $1^m,5$  aber mindestens 2 und für noch grössere Geschwindigkeiten ungefähr 3 betragen sollte. Um das specifische Gewicht der Kugel zu finden, braucht man dieselbe bekanntlich nur in der Luft und unter Wasser zu wiegen und mit dem hieraus folgenden Gewichtsunterschied in das Gewicht zu dividiren, welches die Kugel in der Luft hat.

Ob der Faden des Quadranten lang genug ist, erfährt man an derjenigen Stelle eines Flusses, wo die grösste Geschwindigkeit stattfindet, indem man das Instrument daselbst aufstellt und zusieht, ob die vom Wasser gestossene Kugel an die Oberfläche tritt oder noch unter ihr bleibt.

#### Die Pitot'sche Röhre.

§. 265. So wie der Stromquadrant gibt auch die Pitot'sche Röhre die Geschwindigkeit eines fliessenden Wassers unabhängig von Zeitbestimmungen. Sie bestand ursprünglich bloss aus einer einfachen offenen Glasröhre, welche unten rechtwinklig umbogen und mit einem kleinen blechernen Trichter versehen war, den man gegen den Strom hielt, während das Rohr lothrecht stand. In Folge des vom Wasser in der Richtung der Trichteraxe ausgeübten Stosses erhebt sich das in die Röhre eingedrungene Wasser über den Spiegel des an ihr vorbeifliessenden, und diese Erhebung steht erfahrungsgemäss mit der Geschwindigkeit des stossenden Wassers in einem bestimmten mathematischen Zusammenhange; es ist nämlich, wenn  $h$  die theoretische Geschwindigkeitshöhe und  $h'$  die beobachtete Erhebung des Wasserspiegels in der ersten Röhre über den der zweiten,  $v$  die Geschwindigkeit des Wassers,  $g$  die Beschleunigung der Schwere und  $m$  einen von der Beschaffenheit der Röhre abhängigen Coefficienten und  $k$  das Product  $m \sqrt{2g}$  bezeichnet,

$$v = \sqrt{2gh} = m \sqrt{2gh'} = k \sqrt{h'}. \quad (185)$$

Hat man in einem Canale von bekannter Geschwindigkeit ( $v$ ) die dieser Geschwindigkeit entsprechende Erhebung ( $h'$ ) mehrmals genau beobachtet, so erhält man hiernach den Werth von  $k$ , und ist dieser bestimmt, so lässt sich leicht eine Tafel berechnen, welche die Geschwindigkeit  $v$  für irgend eine Erhebung  $h'$  enthält; die Messung erfordert somit nur eine richtige Beobachtung von  $h'$  und ein Nachsehen in der Tabelle. Aber die Bestimmung von  $h'$  ist bei einer einfachen Röhre sehr mühsam und ungenau. Darum wendet man zwei Röhren neben einander an, wovon eine die durch den Stoss gehobene Wassersäule enthält, und die andere den dem hydrostatischen Drucke entsprechenden äusseren Wasserspiegel anzeigt. Dieser

Röhrenverbindung hat Reichenbach jene bequemere und zweckmässigere Einrichtung gegeben, welche unter dem Namen Reichenbach'scher Strommesser ziemlich verbreitet ist und hier mit Beibehaltung der früheren Bezeichnung des Instruments beschrieben wird.

Die allgemeine Anordnung der durch Reichenbach verbesserten Pitot'schen Röhre ergibt sich aus Fig. 326, welche eine Seitenansicht im Massstabe von  $\frac{1}{10}$  der natürlichen Grösse ist. Die beiden Glasröhren (a, c) befinden sich in einem hölzernen Schafte (b), dessen Querschnitt einer biconvexen Linse gleich ist. Zwischen den Röhren ist auf dem Schafte ein messingner Massstab (i) befestigt. Die Röhre a, welche bloss den äusseren Wasserstand anzuzeigen hat, steht mit zwei kleinen Mundstücken (e, e), und die Röhre c, auf welche der Wasserstoss wirkt, mit einem kegelförmigen Ansatzröhre (f) in Verbindung. Die Verbindungscanäle zwischen den Röhren und ihren Mundstücken werden durch einen den Röhren gegenüberliegenden und auf einen Hahn wirkenden Draht (d) geöffnet und geschlossen, indem man diesen Draht auf- oder abwärts schiebt.

Die besondere Einrichtung der wesentlichsten Theile ist in den Fig. 327 und 328, S. 450, welche im Massstabe von  $\frac{1}{9}$  gezeichnet sind und wovon die eine den unteren Theil des Instruments perspectivisch, die andere durchschnitten darstellt, zur Anschauung gebracht. Die Röhren (a, c) sind im Innern 4 Linien weit und haben eine Länge von 4 bis 5 Fuss. Wenn auch bei dieser Weite die Capillarität noch einen Einfluss auf die Höhen der Wassersäulen hat, so verschwindet derselbe doch für den Unterschied dieser Höhen, wenn nur die Röhren gleichweit sind. Dass letztere oben offen sind, damit auf beide Wassersäulen der gleiche Luftdruck stattfindet, versteht sich von selbst. Nach unten setzen zwei cylindrische Bohrlöcher in dem Fussstücke I die Röhre a bis zu den Mundstücken e, e und die Röhre c bis zu dem Trichter f fort. Beide Bohrungen werden von einem Hahne (k) durchdrungen, der ein massiver Kegel mit zwei Löchern ist, welche sich durch den Draht d bald in die Richtung der Röhren, bald senkrecht darauf stellen lassen. Wenn man nämlich mit dem Draht den Hebel n abwärts gedrückt hat, so stehen die Röhren mit dem Wasser in Verbindung, und wenn der Draht heraufgezogen ist, so sind die Röhren vom äusseren Wasser abgeschlossen. Hatte man nun bei einer Messung erst den Hahn geöffnet, dann das Instrument so in das Wasser gehalten, dass die Röhren lothrecht standen und der

Fig. 326.

Trichter den Wasserfäden parallel. Wenn man das Instrument aus dem Wasser gehoben, so wird der Massstab  $i$ , welcher von Messing und bis auf Linien getheilt ist, die Höhen der Wasserstulen und folglich auch ihren Unterschied, welcher die Erhebung  $h'$  ist,

anzeigen. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, dass man den Nullpunkt dieses Massstabs überall hinlegen kann; es ist aber gut, ihn in die Ebene zu legen, welche durch die Axe des Trichters  $f$  geht und auf den Röhrenaxen senkrecht steht, weil dann die Ablesung an der Röhre  $a$  sofort die Tiefe angibt, in welcher die Geschwindigkeits-Messung stattfand.

§. 266. Bei dem Gebrauche der verbesserten Pitot'schen Röhre sind folgende Regeln zu beachten. Das Instrument wird mit den beiden Händen so gehalten, dass die Röhren lotrecht stehen und die Axe des Stromtrichters in die Richtung der ankommenden Wasserfäden fällt. Das letztere ist nahezu der Fall, wenn diese Fäden zu beiden Seiten des Schaftes gleichmässig und ohne Wallung abgleiten.<sup>1</sup> Findet diese Gleichmässigkeit nicht statt, so dreht man den Schaft so lange zur Seite, bis sie hergestellt ist. Beim Hinabsenken ist der Hahn offen. Hat man das Instrument wenigstens eine Minute lang in der bezeichneten Stellung ganz ruhig gehalten, so schliesst man mit der linken Hand, die sich neben dem Stelldraht befindet, durch Aufziehen dieses Drahts rasch den Hahn. Hierbei darf die lotrechte Stellung der Röhren und die Tiefe der Einsenkung nicht im mindesten ver-

<sup>1</sup> In dem folgenden Paragraphen haben wir ein Mittel angegeben, wodurch sich diese Richtung einfacher und sicherer bestimmen lässt.

ändert werden. Eine Minute Zeit muss man aufwenden, damit sich die Glasröhren durch die engen Trichter so füllen können, wie es der Gleichgewichtszustand der in dem Wasser thätigen Kräfte fordert; die lothrechte Stellung muss innegehalten werden, weil sonst die Wassersäulen zu gross ausfallen und falsche Resultate liefern; und bei dem Schliessen des Drahts muss die Höhenlage des Instruments unverändert bleiben, weil sonst die Wasserstände nicht der Stelle entsprechen, für welche die Geschwindigkeitsmessung beabsichtigt war. Auch beim Ablesen der Wasserstandshöhen ist das Instrument lothrecht und ruhig zu halten, weil sonst die Wassersäulen etwas länger oder kürzer erscheinen als sie sind. Das Halten des Instruments wird durch Anlehnen desselben an den Steg, oder das Schiff, worauf der Beobachter steht, unterstützt. Es versteht sich jedoch von selbst, dass auf grösseren Flüssen oder Strömen das Schwanken des Schiffs durch Fahrbäume und Seile vermieden und das Instrument selbst über die Spitze des Schiffs hinaus und unter dessen Bodenfläche hinabgesenkt werden muss, wenn der Einfluss der Stauung möglichst gering werden soll. Endlich hat man dafür zu sorgen, dass in Flüssen, deren Wasser nach anhaltendem Regen oder Thauwetter gröberes Material oder Schlamm führt, nicht früher gemessen werde als bis das Wasser hell geworden ist; dass man Messungen, bei welchen sich Gras, Blätter, Reisig, Grundeis u. dergl. vor den Stromtrichter gelegt hatten, als nicht geschehen betrachte; und dass der Hahn nach jedem Versuche vollkommen geschlossen und vor jeder neuen Messung völlig geöffnet werde.

Zum bequemeren Gebrauche der Reichenbach'schen Strommesser wird von dem Ertel'schen Institute in München, das die Anfertigung dieser Instrumente besorgt, jedem Exemplar derselben eine Tabelle beigegeben, welche die zu den beobachteten Höhenunterschieden gehörigen Geschwindigkeiten unter der Annahme enthält, dass der Coefficient  $m = 1$  und folglich  $k = \sqrt{2g}$  sei. Diese Annahme ist jedoch nur annähernd und für manche Instrumente richtig. So fand z. B. Darcy für seine in §. 267 beschriebene verbesserte Pitot'sche Röhre aus 92 vergleichenden Versuchen für die Oberfläche eines Flusses  $m = 1,006$  und aus 31 solchen Versuchen für verschiedene Punkte des Wasserquerschnitts  $m = 0,993$ , also im Mittel  $m = 1$ . Je nach der Beschaffenheit des Trichters, der Röhre, des Schafts etc. kann jedoch  $m$  seinen Werth ändern. Wir fügen deshalb im Anhang zu Bd. II eine Tabelle (Nr. XVIII) bei, welche zur Auffindung der Geschwindigkeiten dient, diese aber nicht unmittelbar, sondern nur die Quadratwurzeln der beobachteten Erhebungen  $h'$  gibt, welche alsdann noch mit dem Coefficienten  $k$  zu multipliciren sind, der für jedes Instrument besonders bestimmt werden muss.

§. 267. Weitere Verbesserungen der Pitot'schen Röhre. Wenn auch die von Reichenbach verbesserte Pitot'sche Röhre gegen die ursprüngliche Einrichtung viele Vorzüge hat, so lässt sie doch noch Mehreres zu wünschen übrig. Denn erstens leidet sie wie der Stromquadrant an dem

Uebelstände, dass sie nur jene Wirkung des Wasserstosses anzeigt, welche im Augenblicke des Röhrenschlusses stattfindet und welche nach einer früheren Bemerkung von der mittleren Wirkung auffallend verschieden sein kann; zweitens ist es schwer, die Pitot'sche Röhre nach der Einrichtung von Reichenbach lothrecht genau in der Höhe zu erhalten, in welcher die Geschwindigkeitsmessung stattfinden soll; und endlich drittens kann man es bei aller Uebung und Vorsicht kaum dahin bringen, das Instrument aus freier Hand so zu halten, dass die Axe des Ansatzrohres *f* (Fig. 326 bis 328)

Fig. 329.

stets in der Richtung der Stromfäden und folglich auch in der Richtung des Stosses liegt.

Was nun den ersten der hier erwähnten Mängel betrifft, so lässt sich derselbe nicht beseitigen, da er im Princip des Instruments liegt; der zweite kann hingegen dadurch verbessert werden, dass man, wie in Fig. 329 angedeutet, den Schaft mit einem verschiebbaren und bei *i* drehbaren Fusse versieht, der bis auf die Sohle des Flussbetts reicht, oder aber an dem Schaft ein Stahlprisma *p*, wie in Fig. 330, anbringt, das durch die Stütze *q* den Trichter *f* in der richtigen Höhe erhält, während er sich noch so weit drehen kann als nöthig ist, ihn in die Stromrichtung zu bringen; und der dritte Mangel verschwindet nach unserer Erfahrung, wenn man am unteren Ende des Schaftes ein Steuerruder *r* von etwa  $1\frac{1}{2}$  Fuss Länge und



4 Zoll Breite anbringt, in der Weise, wie dieses beim Woltman'schen Flügel der Fall ist. Dieses Steuerruder sucht sich immer in die Verticalebene der Wasserfäden zu stellen und übt deshalb, so lange es diese Richtung nicht hat, einen Seitendruck aus, der sich in den Händen desjenigen, welcher das Instrument behufs der Messung in den Fluss hält, fühlbar macht. Gibt man nun diesem Drucke nach, bis er verschwunden ist, so steht das Steuerruder und mit ihm die Axe der Ansatzröhre in der Richtung des Stosses, wie es sein soll.

Ein mit Fuss und Steuerruder versehener Reichenbach'scher Strommesser liefert nach den Versuchen, welche wir damit angestellt haben, bessere Resultate als die in §. 265 beschriebene Pitot'sche Röhre; gleichwohl aber kommt die Genauigkeit der Messung jener nicht gleich, welche mit dem Woltman'schen Flügel zu erreichen ist.



## Verbesserungen der Pitot'sch

Eine nicht unwesentliche Verbesserung erfuhr die Pitot'sche Röhre durch den französischen Ingenieur H. Darcy, welche darin besteht, dass man die Ablesungen der Wasserstände, aus deren Unterschied die Geschwindigkeitshöhe  $h'$  folgt, in bequemer Weise über Wasser machen kann, ohne das Instrument aus demselben herausnehmen oder überhaupt in seiner Stellung verändern zu müssen. Dieser Vortheil wird dadurch erreicht, dass nach Fig. 330 die beiden Röhren a, c, welche am Reichenbach'schen Strommesser oben offen sind, hier durch einen gemeinsamen metallenen Canal verbunden werden, der durch ein Mundstück o so ausgesaugt werden kann, dass in Folge der Luftverdünnung das Wasser in beiden Röhren höher emporsteigt, als es sonst geschehen würde. Je nach dem Grade der Luftverdünnung kann ein stärkeres oder schwächeres Steigen und folglich ein Wasserstand hervorgerufen werden, welcher dem Beobachter ein bequemes Ablesen des letzteren gestattet. Selbstverständlich ist der metallene Canal, wenn die Wasserstände in den Röhren a und c die gewünschte Höhe erlangt haben, mit einem Hahn r luftdicht abzuschliessen, wodurch sich die gleichmässige Luftverdünnung in den beiden Röhren a und c erhält. Derselbe Canal und Hahn können auch zu einer Luftverdichtung in dem Falle benützt werden, wo das Instrument tief eingetaucht werden muss und die zu messende Geschwindigkeit so gross ist, dass die Hauptröhre für die dem Stosse entsprechende Erhebung des Wassers in der Röhre a nicht mehr ausreicht: in diesem Falle werden beide Wassersäulen um gleichviel verkürzt, ihr Unterschied entspricht aber gleichwohl der Geschwindigkeitshöhe  $h'$ .

Verschieden von den Reichenbach'schen Trichtern sind bei Darcy auch die ihre Stelle vertretenden umgebogenen kupfernen Röhren c 331 und 332 in vergrössertem Massstabe da 1 Centimeter weit und die den Wasserstoss an horizontale Mündung von nur 1 Millimeter, wi

den hydrostatischen Druck in Anspruch genommene Röhre e eine noch kleinere nach oben gerichtete Oeffnung i hat, durch welche sie mit dem

Fig. 331.

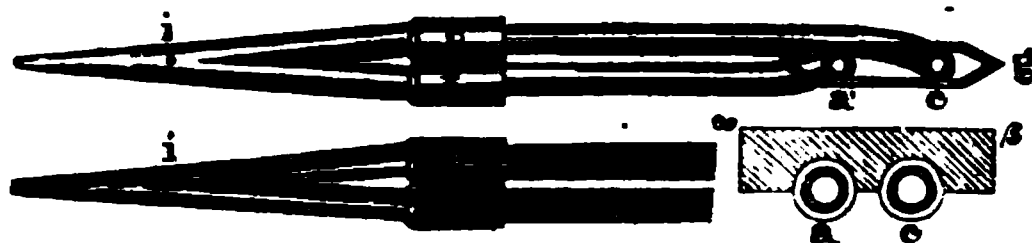


Fig. 332.

stossenden Wasserstrahle in Verbindung steht, ohne dem Stosse ausgesetzt zu sein. Die kupfernen Röhren e und f setzen sich durch einen aus demselben Metalle angefertigten Kasten von linsenförmigem Querschnitte (g) auf eine Länge von 75 Centimeter fort und können an ihrem oberen Ende, wo sie mit den Glasröhren c und a in Verbindung treten, durch einen Hahn k geöffnet und geschlossen werden. Dieser Hahn wird hier durch einen gleichnamigen Hebel n, n' mit zwei dem Messgehilfen zugänglichen Schnüren d, d' nach der einen oder anderen Richtung gedreht; eine Vorrichtung, welche der in Fig. 327, Seite 450 gezeichneten einseitigen des Reichenbach'schen Strommessers jedenfalls vorzuziehen ist.

Zum Halten des Instruments dienen der Griff s und das Mundstück o am oberen Ende. Den Griff fasst der Messgehilfe mit der rechten, das Mundstück mit der linken Hand, nachdem er das an dem Brette mit den Glasröhren verschiebbare und durch Schrauben festzustellende Eisenprisma p auf den Messungssteg q aufgesetzt hat. Um den Stützpunkt p kann sich das Instrument in horizontalem und verticalem Sinne drehen: die Drehung um die Horizontalaxe (behufs der Verticalstellung der Röhren) wird durch einen gegen den Arbeiter gewendeten Senkel oder eine kleine Dosenlibelle l, die Drehung um die Verticalaxe (behufs Parallelstellung der Röhren e und f mit den Wasserfäden) durch ein am Kasten g angebrachtes Steuerruder t geregelt.

Zum Ablesen der Wasserstände dient entweder, wie hier, eine Messing-scala zwischen beiden Glasröhren, oder aber ein verschiebbarer Massstab mit 2 Scalen, deren Nullpunkte nach einander auf einen der Wasserstände eingestellt und am anderen abgelesen werden können, um sofort ohne Subtraction den Höhenunterschied h' zu erhalten. Dass damit an Zeit und Genauigkeit der Messung gewonnen wird, dürfte zu bezweifeln sein.

Die Handhabung der Darcy'schen Röhre stimmt im Wesentlichen mit der des Reichenbach'schen Strommessers überein, bis auf das Aussaugen der beiden Glasröhren und das Ablesen, welches ohne Veränderung des Instrumentenstands nach Abschluss der unteren Röhrenenden vorgenommen werden kann. Man wird stets eine grössere Zahl von Ablesungen nach einander machen und aus diesen das Mittel nehmen, um hierdurch den in der Natur der Sache liegenden Ungleichheiten in der Bewegung der Wasserfäden einigermaßen Rechnung zu tragen.

Um den Coefficienten m und beziehungsweise  $k = m \sqrt{2g}$  zu ermitteln, mit dessen Hilfe nach Gl. (185) die Geschwindigkeit  $v = k \sqrt{h'}$  gefunden wird, zu bestimmen, benützt man entweder Wasserläufe von verschiedenen



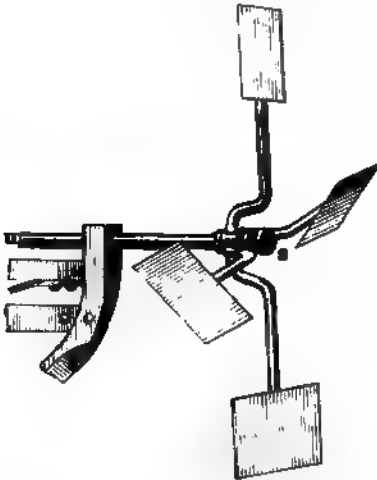




Zum Ablesen auf den f  
festigten Zeiger  $z'$  und

Die Flügel ( $f, f'$ ) haben eine trapezförmige Gestalt, welche sich als ein an den Ecken abgestumpfter Ausschnitt eines Kreisrings darstellt. Die Grösse dieses Ausschnitts richtet sich nach der Länge der Flügelruthen  $n, n'$ . Beschreibt man mit dieser Länge als Halbmesser einen Kreis, so liefert dieser den äusseren Bogen  $\alpha\beta$ ; nimmt man ferner die Flügelbreite  $m, n$  zwischen einem Drittel und der Hälfte der Ruthenlänge  $n, n'$  an, so ergibt sich der concentrische innere Bogen  $\gamma\delta$ ; und theilt man endlich die so bestimmte Ringfläche durch Halbmesser in 9 oder 10 gleiche Theile, so ist die Form und Grösse eines Flügels der Hauptsache nach bestimmt. Jeder Flügel ist an der Ruthen, wie bei  $f'$  zu sehen, festgelöthet und es werden beide Flügel mit der Oeffnung in der Mitte der Ruthen so an die Hauptaxe gesteckt, dass

Fig. 334.



die glatte Metallfläche dem ankommenden Wasser zugewendet ist. Eine Schraube  $s$  hält die Flügelruthen an der Axe fest. Statt zweier Flügel kann man auch 4 anwenden, wie aus der beigedruckten Figur zu entnehmen ist.

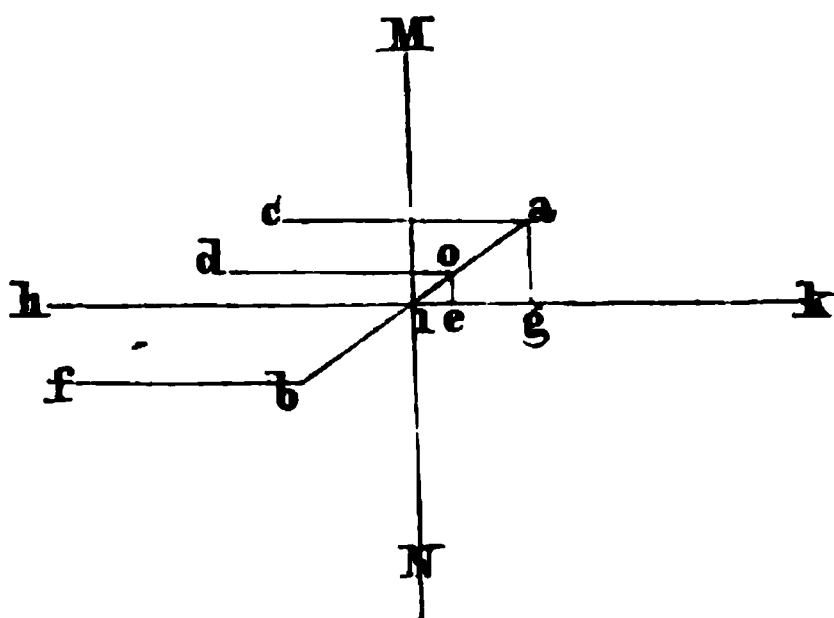
Die Schnur  $D$  dient dazu, den Zählapparat von dem Augenblicke an in Gang zu bringen, wo die Zeitmessung beginnt, und ihn in dem Moment ausser Gang zu setzen, wo die Zeitmessung aufhört. Unsere Figur zeigt den Zählapparat im Zustande der Ruhe; die Flügel können sich im Wasser drehen, ohne dass diese Drehungen gezählt werden. In dem Augenblicke aber, wo die Schnur aufwärts gezogen wird und das Rädchen  $r'$  in die Schraube  $u$  eingreift, kommt der Zähl-

apparat in Gang und verharrt darin, bis die Schnur auf ein gegebenes Zeichen wieder nachgelassen wird. Damit das Rädchen  $r'$  in Folge dieses Nachlassens ganz sicher ausser Verbindung mit der Schraube  $u$  kommt, ist zwischen dem Hebel  $i$  und dem festen Arme  $o, o'$  eine Spiralfeder  $e$  angebracht, welche, sobald es die Schnur erlaubt, den Hebel  $i$  und damit die gezahnten Rädchen in die Lage herabdrückt, welche Fig. 333 darstellt.

§. 269. Gebrauch. Wir setzen voraus, dass in geringer Höhe über dem Wasserspiegel des Flusses, dessen Geschwindigkeiten an verschiedenen Stellen bestimmt werden sollen, ein Steg gebaut sei, von dem aus die Beobachtung geschieht, und dass man bereits die Tiefen des Flusses gemessen und hiernach den Abstand des Instruments vom Fusspunkte der Flügelstange bestimmt habe. Nun stelle man die Rädchen  $r'$  und  $r''$  so, dass jeder Zeiger  $z'$  und  $z''$  auf Null zeigt und lasse von einem Gehilfen das



Fig. 335.



h k einen in dieser Ebene liegenden Wasserfaden vor: so wird vom Anfange der Bewegung an die Geschwindigkeit der Flügel zunehmen, bis sie so gross ist, dass die Wasserfäden ungehindert über die Flügelsebene hinfließen können, d. h. der Flügel wird in der Ebene M N oder in einer damit parallelen Ebene den Weg a g machen, während der Wasserfaden den Weg i g macht. Da diese Wege in gleichen Zeiten

zurückgelegt werden, so verhalten sie sich wie die gleichförmigen Geschwindigkeiten c und v, aus denen sie hervorgehen. Berücksichtigt man aber, dass  $ag : ig = \tan \alpha$ , so wird

$$v = c \cot \alpha \quad (187)$$

und dieses ist die gesuchte Relation zwischen dem Anstosswinkel  $\alpha$  und den Geschwindigkeiten des Wassers und des Flügels.

Hieraus ergibt sich auch der Beweis für die im Eingange des §. 268 aufgestellte Behauptung, dass für  $\alpha = 45^\circ$  die Geschwindigkeit des Flügels der des Wassers gleich werde; denn setzt man  $\alpha = 45^\circ$ , so ist  $\cot \alpha = 1$  und folglich

$$v = c \quad (188)$$

was zu beweisen war.

Die beiden letzten Gleichungen gelten offenbar nur für bestimmte Punkte jedes Flügels und unter der Voraussetzung, dass die Reibung der Instrumentenbestandtheile so gering sei, dass sie vernachlässigt werden darf. Die Punkte, für welche unter dieser Voraussetzung jene Gleichungen richtig sind, sind die Mittelpunkte des Drucks und alle jene Punkte der Flügelflächen, welche dieselben Abstände von der Hauptaxe haben wie diese Mittelpunkte; mit den Abständen der Punkte nimmt selbstverständlich die Geschwindigkeit in denselben zu und ab.

Wollte man nun ohne Rücksicht auf Reibung den Werth  $k'$  bestimmen, welcher einer ganzen Umdrehung des Flügels entspricht, so hätte man  $k'$  dem Umfange eines Kreises gleich zu setzen, dessen Halbmesser  $\rho$  der Abstand der Mittelpunkte des Drucks von der Hauptaxe ist. Somit würde  $k' = 2 \rho \pi$ , und wenn man mit  $\mu$  einen von der Reibung abhängigen, der Einheit nahezu gleichen Coefficienten bezeichnet,

$$v = \mu k' \cot \alpha \cdot n \quad (189)$$

sein. Man bedient sich jedoch dieser Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers nicht, sondern bestimmt den Werth von

$$\mu k' \cot \alpha = k \quad (190)$$

als eine dem Instrumente zugehörige Constante durch Versuche, wodurch die zur Berechnung der Geschwindigkeit dienende Formel, die bereits in Nr. 186 gegebene einfache Gestalt annimmt.





welcher das Schiff gezogen wird, und errichte zu P Q zwei Senkrechte P P' und Q Q'. In den Punkten R und S können kurze Pfosten mit Rollen, über welche die Leinen gehen, eingeschlagen sein. Ist nun der Zählapparat auf Null eingestellt und der Kahn bis an das Ufer bei R zurückgezogen, so führe man ihn in der Richtung R S vorwärts und ziehe die Schnur an, sobald von P' aus angedeutet wird, dass die Stange A des Instruments in die Linie P' P tritt, und halte diese Schnur fest, bis von Q' aus das Zeichen kommt, dass die Stange A durch die Linie Q Q' geht. An dem Ufer bei S lese man die Zeiger z' und z'' ab und wiederhole, nachdem das Schiff bis R zurückgezogen ist, das eben beschriebene Verfahren mehrere Male. Das Mittel aus allen Ablesungen gibt die Anzahl (u) von Umdrehungen, welche nöthig sind, damit der Flügel den Weg P Q = w durchlaufe; es ist folglich der Werth einer Umdrehung oder

$$k = \frac{w}{u}. \quad (192)$$

Diese Bestimmung von k ist von jeder Zeitbeobachtung unabhängig und verdient, obschon sie etwas umständlich ist, um so mehr Beobachtung, als ein so regelmässiges Gerinne von hinreichender Länge, wie wir es bei Nr. 1 gefordert haben, selten zu treffen und in einem Flusse die Berichtigung des Woltman'schen Flügels nach einem Schwimmer unstatthaft ist.<sup>1</sup>

Mit welcher Genauigkeit dieses zweite Verfahren ausgeführt werden kann, zeigen folgende Versuche, welche der Verfasser an dem See und den Canälen im englischen Garten bei München ausgeführt hat.

Die Rollen R und S waren an zwei vierkantigen und 3 Fuss über den Boden vorstehenden Pfählen angebracht; ihre Entfernung betrug nahezu 301 Fuss. Die mit R S parallele Linie P Q war 191,2 Fuss lang und es stand der Schnittpunkt A vom Ufer bei R um 50 Fuss und der Schnitt A' vom Ufer bei S um 60 Fuss ab. Die Entfernungen A R und A' S müssen deshalb etwas gross genommen werden, damit sich das Schiff und die Flügel schon in gehöriger Bewegung befinden, wenn sie bei A anlangen. Auf dem Kahne war der Länge nach eine dreizöllige Bohle befestigt, welche 5 Fuss über das Schiff hinausragte. Vorne fassten zwei eiserne Griffe die Flügelstange A in lothrechter Stellung; durch Schrauben konnte diese Stange verstellt und so weit in die Höhe gezogen werden, dass man am Ufer bei S die Zeiger ablesen konnte. Es wurden jedesmal 4 Flügel untersucht, welche an eine und dieselbe Axe passten; zwei von diesen Flügeln hatten Anstosswinkel von 45°, ihre Ebenen standen also gegen einander senkrecht, wesshalb wir sie mit „grosser senkrechter“ und „kleiner senkrechter Flügel“ bezeichnen wollen. Die beiden anderen Flügel waren ebenfalls nur der

<sup>1</sup> Es muss jedoch bemerkt werden, dass nach den Angaben einiger Hydrotechniker (Darcy, Grebenau) die Anzahl der Umdrehungen u sich mit der Geschwindigkeit, womit der Weg w zurückgelegt wird, etwas ändert; Verfasser (und mit ihm Hagen) hat diese Aenderung nicht beobachtet, wahrscheinlich aber nur deshalb, weil sich bei seinen Versuchen die Geschwindigkeit des Kahns ziemlich gleich blieb.

Grösse nach verschieden; der Anstosswinkel betrug bei ihnen 32,4 Grad. Wir nennen den einen den „grossen schiefen“ und den anderen den „kleinen schiefen Flügel“, weil die Flügelebenen unter einem Winkel von 64,8 Grad gegen einander geneigt waren.

Hier folgen zunächst die beobachteten Umdrehungszahlen.

Versuch Nr.	Grosser senkrechter Flügel	Kleiner Flügel	Grosser schiefer Flügel	Kleiner Flügel
Anzahl der Umdrehungen				
1	62,4	114,5	40,0	67,5
2	62,7	114,3	40,1	68,0
3	62,8	114,0	39,6	67,6
4	62,3	114,6	39,5	67,2
5	62,3	114,2	39,4	67,7
Mittel	62,5	114,4	39,7	67,6

Da die Länge der durchfahrenen Linie  $AA' = PP' = w = 191,2$  Fuss war, so berechnete sich der Werth von  $k$  für

den grossen senkrechten Flügel = 3,06 Fuss bayer.

„ kleinen „ „ = 1,67 „ „

„ grossen schiefen „ = 4,82 „ „

„ kleinen „ „ = 2,83 „ „

Lag schon in den geringen Unterschieden der Umdrehungszahlen ein hoher Grad von Wahrscheinlichkeit für die richtige Bestimmung der Werthe von  $k$ , so wurde diese Wahrscheinlichkeit zur Gewissheit erhoben durch die folgenden Versuche, welche darauf gerichtet waren, an einer und derselben Stelle eines der Canäle, welche den schon genannten englischen Garten durchziehen, die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers zu bestimmen. Es ist klar, dass jeder Flügel, wenn seine Constante richtig bestimmt ist und das Wasser regelmässig fliesst, dieselbe Geschwindigkeit angeben muss. Der Canal hatte an der Stelle, wo diese Versuche gemacht wurden, ein gerades Bett von nahezu rechteckigem Querschnitte, und ein fester Steg gestattete eine leichte Messung. Jeder Flügel lief 60 Secunden lang und machte in dieser Zeit die in der nachstehenden Tabelle verzeichneten Umdrehungen.

Berechnet man nach diesen Mitteln und mit den vorhin bestimmten Coefficienten die Geschwindigkeiten, so liefert

der grosse senkrechte Flügel die Geschwindigkeit  $v = 3,422$  Fuss bayer.

„ kleine „ „ „ „  $v = 3,423$  „ „

„ grosse schiefe „ „ „ „  $v = 3,414$  „ „

„ kleine „ „ „ „  $v = 3,419$  „ „

Versuch Nr.	Grosser senkrechter Flügel	Kleiner senkrechter Flügel	Grosser schiefcr Flügel	Kleiner schiefcr Flügel
Anzahl der Umdrehungen in 60 Sekunden				
1	67,4	123,0	42,6	72,4
2	66,8	123,2	42,3	72,0
3	67,3	122,7	42,3	72,5
4	66,7	122,6	42,6	72,8
5	67,3	123,1	42,6	72,7
Mittel	67,1	122,9	42,2	72,5

Eine grössere Uebereinstimmung der Angaben als diese wird wohl Niemand verlangen.

Nun liesse sich immer noch einwenden, dass ein constanter Fehler in dem Instrumente liegen könne, welcher zwar gleiche Angaben gestattet, aber doch alle Angaben entweder zu gross oder zu klein liefert. Um auch diesen Einwand, den wir uns selbst machten, zu beseitigen, bestimmten wir an der zuletzt genannten Canalstrecke die Geschwindigkeit des Wassers mit einer 8zölligen Schwimmkugel und fanden dieselbe im Mittel = 3,48 Fuss, also nur wenig grösser, als sie die vier Flügel angaben. Wir konnten somit die Constanten der letzteren als völlig richtig ansehen und mit gutem Gewissen den hydrotechnischen Messungen zu Grunde legen, welche wir zu jener Zeit an verschiedenen Orten auszuführen hatten.

§. 272. Die Geschwindigkeit des Wassers, welche der hydrometrische Flügel angibt, wird nicht in allen Schriften durch die Gleichung (186)

$$v = k n$$

dargestellt, wie es hier in Uebereinstimmung mit dem Erfinder des Instruments und der Mehrzahl der Hydrauliker geschah; manche Ingenieure setzen

$$v = k' n + k_1 \quad (193)$$

wobei  $k'$  nur wenig von  $k$  abweicht und  $k_1$  eine zweite Constante (nahezu die sehr kleine Geschwindigkeit, bei welcher der Flügel wegen der Reibung sich nicht mehr dreht) bezeichnet, und Einige nehmen sogar

$$v = k'' n + k_2 n^2 \quad (194)$$

an, indem sie unter  $k''$  einen dem  $k$  und  $k'$  ziemlich nahe kommenden Coefficienten und unter  $k_2$  eine zu dem Quadrat der Umdrehungszahl in einer Secunde gehörige zweite Constante verstehen.

Der zweite dieser drei Ausdrücke mag bei sehr kleinen und der dritte bei sehr grossen Geschwindigkeiten seine Berechtigung haben, unseres Wissens liegen aber noch keine entscheidenden Versuche hierüber vor. Wenn indessen die vom k. Regierungsrathe H. Grebenau auf Seite 60 seiner Schrift „Die internationale Rheinstrommessung bei Basel“ (München, 1873)

enthaltene „Tabelle der variablen Coefficienten  $k$ “ wirkliche Versuche darstellt, so würde sich aus nachstehenden Beobachtungen Folgendes ergeben.

Nr	Geschwindigkeit $v$	Umdrehungen in 1" = $n$	Nr	Geschwindigkeit $v$	Umdrehungen in 1" = $n$
	m			m	
1	0,4	0,650	7	1,0	1,883
2	0,5	0,872	8	1,2	2,264
3	0,6	1,083	9	1,4	2,645
4	0,7	1,288	10	1,6	3,029
5	0,8	1,484	11	1,8	3,414
6	0,9	1,687	12	2,0	3,800
7	1,0	1,883			

1. Legt man der Bestimmung der Constanten die Formel  $v = k_1 + k' n$  zu Grunde, so lassen sich dieselben mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate nach Bd. II, §. 16 bestimmen. Zieht man zunächst nur die 7 ersten Versuche, welche für kleinere Geschwindigkeiten (von 0,4 bis 1 Meter) gelten, in Betracht, so sind die 7 Beobachtungsgleichungen:

$$\begin{aligned} v_1 &= k_1 + k' n_1 \\ v_2 &= k_1 + k' n_2 \\ &\vdots \\ v_7 &= k_1 + k' n_7. \end{aligned}$$

Aus diesen ergeben sich nach Formel 27, S. 20 die beiden Normalgleichungen:

$$[1 \cdot 1] k_1 + [1 \cdot n] k' = [1 \cdot v] \text{ oder } 7 k_1 + 8,952 k' = 4,90$$

$$[1 \cdot n] k_1 + [n \cdot n] k' = [n \cdot v] \text{ oder } 8,952 k_1 + 12,6235 k' = 6,84$$

deren Auflösung nach gewöhnlicher Art oder nach der besondern im §. 26 des II. Bands dargestellten Methode

$$k_1 = 0,076; k' = 0,488$$

$$v = 0,076 + 0,488 n$$

liefert, mit einem mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung (nach Formel 30, in welcher  $n = 7$  und  $k = 2$  ist) von  $\pm 0^m,0049$ .

Hiernach würde der Flügel von Grebenau, dessen Rad  $0^m,19$  Durchmesser hat, bei einer Geschwindigkeit des Wassers von  $0^m,076$  sich nicht mehr bewegen, wenn man der Constanten  $k_1$  wirklich die Bedeutung beilegt, welche wir oben angegeben haben. Diese Constante könnte man dann auch durch directe Versuche bestimmen und so die Berechnung von  $k'$  erleichtern. Denn angenommen  $k_1 = 0^m,076$  wäre bekannt, so folgte aus der ersten Normalgleichung, wie oben:

$$k' = \frac{[1 \cdot v] - [1 \cdot 1] k_1}{[1 \cdot n]} = \frac{4,90 - 7 k_1}{8,952} = 0,48802.$$

Benützt man sämtliche 12 oben angeführte Versuche zur Bestimmung

der Werthe von  $k_1$  und  $k'$  nach der Formel  $v = k_1 + k' n$ , so findet man auf dem vorbezeichneten Wege:

$$k_1 = 0,0637; k' = 0,5035$$

$$v = 0,0637 + 0,5035 n$$

mit einem mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung von  $\pm 0^m,0134$ . Man bemerkt, dass hier die Geschwindigkeit  $k_1$ , bei welcher sich der Flügel nicht mehr bewegt, etwas kleiner ist als vorhin (0,076). Wäre dagegen  $k_1$  durch directe Versuche und  $= 0^m,076$  gefunden worden, so hätte man nach der ersten Normalgleichung [1]  $k_1 + [n] k' = [v]$ :

$$k' = \frac{12,9 - 12 \cdot 0,076}{24,103} = 0^m,4974$$

erhalten, einen Werth, welcher von dem aus den 7 ersten Versuchen gefundenen (0,4880) etwas weniger als der oben gefundene (0^m,5035) abweicht.

2. Geht man bei der Bestimmung der Constanten des Woltman'schen Flügels von der Formel  $v = k'' n + k_2 n^2$  aus und benützt hierzu die Versuche Nr. 7 bis Nr. 12, so werden die 6 Beobachtungsgleichungen

$$v_1 = k'' n_1 + k_2 n_1^2$$

$$v_2 = k'' n_2 + k_2 n_2^2$$

$$\vdots \quad \quad \quad \vdots$$

$$v_6 = k'' n_6 + k_2 n_6^2$$

und aus diesen ergeben sich die beiden Normalgleichungen:

$$[n \cdot n] k'' + [n \cdot n^2] k_2 = [n \cdot v] \text{ oder } 50,9337 k'' + 159,2224 k_2 = 26,8933$$

$$[n \cdot n^2] k'' + [n^2 \cdot n^2] k_2 = [n^2 \cdot v] \text{ oder } 159,2224 k'' + 516,2588 k_2 = 84,0243$$

welche nach Bd. II, §. 26 oder in gewöhnlicher Weise gelöst, liefern:

$$k'' = 0,52402; k_2 = 0,00127$$

$$v = 0,524 n + 0,0013 n^2$$

mit einem mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung von  $\pm 0^m,0072$ .

Benützt man wieder sämtliche 12 Versuche zur Bestimmung der Werthe von  $k''$  und  $k_2$  aus der Formel  $v = k'' n + k_2 n^2$ , so findet man

$$k'' = 0,5549; k_2 = - 0,0084$$

$$v = 0,5549 n - 0,0084 n^2$$

mit einem mittleren Fehler der einzelnen Beobachtung von  $\pm 0^m,0251$ . Da nun in den beiden hier betrachteten Fällen Nr. 1 und Nr. 2 der quadratische Ausdruck für  $v$  etwas grössere mittlere Fehler liefert als der lineare, (insofern sich 0,0072 und 0,0049, dann 0,0251 und 0,0134 gegenüberstehen), so verdient die Formel  $v = k_1 + k' n$  den Vorzug, wenn man überhaupt von der üblichen Formel  $v = k n$  abweichen will.

#### Der hydraulische Flügel von Amsler-Laffon.

§. 273. Einrichtung. Im Jahre 1873 hat Professor Amsler-Laffon in Schaffhausen, der Erfinder des Polar- und Momenten-Planimeters, dem Woltman'schen hydrometrischen Flügel eine veränderte Einrichtung

gegeben, welche für die Messung der Geschwindigkeit grosser Flüsse und Ströme sehr beachtenswerth ist. Er hat nämlich den Zählapparat so abgeändert, dass mit demselben nicht die Zahl der Umdrehungen des Flügels in einer gegebenen Zeit, sondern umgekehrt die Zeit für eine bestimmte Anzahl (nämlich 100) Umdrehungen beobachtet und damit das lästige Ausheben des Flügels behufs der Ablesung der in gegebener Zeit erfolgten Umdrehungen erspart wird. Diesen Zweck erfüllt ein electromagnetisches Glockenwerk, das mit dem durch die Flügelaxe bewegten Zahnrädchen in Verbindung steht und nach jedem Hundert von Umdrehungen des Flügels läutet. Es genügt also, bei Beginn dieses Läutens die Secundenuhr abzulesen und aus den Unterschieden der Ablesungen die zu je hundert Umdrehungen erforderlichen Zeiten zu entnehmen. Während des Läutens wird die Thätigkeit des Instruments nicht unterbrochen.

Wir theilen in Fig 337 eine Abbildung und Beschreibung des der hydrometrischen Sammlung des hiesigen Polytechnicums einverleibten Amsler'schen Flügels mit und reihen daran einige vorläufige auf Erfahrung gegründete Bemerkungen, wobei wir bedauern, nicht ausführlicher über die Leistungen des neuen Instruments berichten zu können. Der Grund hievon ist, dass wir es, obwohl es schon im Sommer 1873 bestellt wurde, doch erst zu Ausgang des Winters 1875 erhalten haben.

Die nachfolgende geometrische Abbildung stellt einen nach der Richtung der Wasserfäden gemachten verticalen Durchschnitt des Amsler-Laffon'schen hydrometrischen Flügels mit den hiebei sich ergebenden Seitenansichten vor: A ist eine eiserne Stange von T-förmigem Querschnitte ( $28 : 28^{\text{mm}}$ ), an welcher der Flügel verschoben, festgestellt und gehalten wird. Damit sich dieser mittels des massiven Steuerruders, das nach gemachtem Gebrauche von der Hülse bei k losgeschraubt werden kann, rasch in die Richtung des Stromstrichs stellt, haben wir das untere Ende der Stange unseres Flügels mit einem halbkugeligen Ansatz (p) versehen lassen. Zur Führung des Flügels dienen die Hülsen bei a, b, c, zur Feststellung die Klemmschrauben a, c und zur Ablesung des Stands der Flügelaxe unter Wasser der eingetheilte eiserne Rundstab t in Verbindung mit der obersten Hülse, welche bei Beginn der Messung so weit geschoben wird, dass ihre Oberfläche mit dem Nullpunkte der Theilung zusammenfällt, sobald die Flügelaxe im Wasserspiegel liegt. Die Flügelaxe (u s) befindet sich in einer genau abgedrehten konischen Büchse des Trägers C, bewegt sich äusserst leicht in derselben und trägt eine unendliche Schraube (u), welche wie bei der Woltman'schen Einrichtung in ein mit 100 Zähnen versehenes Rädchen (r) eingreift und dieses bei jeder ganzen Umdrehung um einen Zahn fortbewegt. Die Flügel (f, f) sind hier wie bei Turbinen schraubenförmig gekrümmt, ihr äusserer Umfang hat  $11,9^{\text{cm}}$  und ihr innerer  $2,9^{\text{cm}}$  Durchmesser, und der Abstand ihrer Druckmittelpunkte beträgt nahezu  $10,5^{\text{cm}}$ . Um die Flügel hat Amsler einen Cylinder von Weissblech (v w) von  $15^{\text{cm}}$  Durchmesser und  $10^{\text{cm}}$  Höhe gelegt wohl in der Absicht, dieselben

n  
v  
e1  
2  
.



lassen. Der fragliche Cylinder kann übrigens mit seinem Träger, der bei C an die Flügelaxe geschraubt ist, abgenommen werden.

Der electromagnetische Zählapparat besteht im Wesentlichen aus einer galvanischen Batterie von zwei Elementen, welche in dem hinteren Theile eines in der Nähe des Beobachters aufzustellenden polirten Kästchens (E) von 24<sup>cm</sup> Höhe und 16<sup>cm</sup> Breite und Tiefe eingeschlossen ist; dann einem Electromagneten (m) und einer Glocke (n) mit darauf liegendem Hammer; endlich aus einer von zwei 8<sup>m</sup> langen Kupferdrähten gebildeten, von einem 7<sup>mm</sup> dicken Guttaperchaschlauch umgebenen bei 0 mit der Röhre D und bei g mit dem Kästchen E verbundenen electrischen Leitung. Der durch die Batterie erzeugte galvanische Strom wird nach je hundert Umdrehungen des Flügels mittels des Hebels e, der das Plättchen i von der Leitung abhebt, unterbrochen, und diese Unterbrechung hat eben das zur Zeitbestimmung dienende sehr deutliche Glockenzeichen zur Folge.

§. 274. **Gebrauch.** Wenn der Flügel gehörig zusammengesetzt und auf die richtige Höhe eingestellt ist, kann die Geschwindigkeitsmessung beginnen. Man trägt das Kästchen, welches den electromagnetischen Apparat umschliesst, gleichzeitig mit dem Flügel an den Beobachtungsort und bringt es innerhalb des von der Leitung vorgeschriebenen Raums an einer sicheren Stätte unter. Während nun der Flügel an der lothrecht gestellten und leicht sich drehenden Eisenstange ins Wasser gehalten wird, hört man bald darauf das Läuten im Apparate. Hat dieses ein oder zwei Mal stattgefunden, so bereitet man sich vor, beim nächsten Glockenschlage die Zeit auf der Secundenuhr zu beobachten und einem Gehilfen zu dictiren. Diese Beobachtungen und Aufschreibungen können bei je 100 Umdrehungen wiederholt, oder es können die Vielfachen von 100 Umdrehungen gezählt und die Zeiten nur am Anfange und Schlusse des zehnten Hunderts auf der Uhr abgelesen werden, wodurch man die Zeit für 1000 Umdrehungen des Flügels erhält.

Bei einer grossen Zahl von Beobachtungen, wozu ein Chronometer mit springendem Secundenzeiger verwendet wurde, fanden an einer und derselben Stelle eines regelmässigen Werkcanals, d. i. bei gleichbleibender Geschwindigkeit des Wassers keine grösseren Zeitunterschiede als von 1 Secunde für je 100 Umdrehungen des Flügels statt, und diese Unterschiede würden vielleicht noch kleiner gewesen sein, wenn es möglich gewesen wäre, Bruchtheile von Secunden abzulesen. Die Ablesefehler werden übrigens gut ausgeglichen, wenn man den Flügel 1000 Umdrehungen machen lässt und die Zeit nur am Anfang und Ende beobachtet; der Zeitfehler von 1 bis 2 Secunden erstreckt sich dann über alle diese Umdrehungen.

Die Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers geschieht entweder nach §. 269, Gl. (186), wenn die Constante  $k$  bekannt ist, oder nach §. 271, Gl. (193) oder Gl. (194), wenn die Constanten  $k_1$  und  $k'$ , beziehungsweise  $k_2$  und  $k''$  gegeben sind.

§. 275. **Bestimmung der Constanten.** Die Methoden zur Bestimmung des Werths  $k$  oder der Werthe  $k_1$   $k'$  und  $k_2$   $k''$  sind von denen nicht verschieden, welche für den älteren Woltman'schen Flügel gelten und im §. 271 beschrieben sind; man kann also hiezu entweder ein fließendes Wasser mit bekannter Geschwindigkeit oder ein ruhig stehendes benützen, worin der Flügel bewegt wird. Hat man in beiden Fällen eine grosse Zahl von Beobachtungen gemacht, so lässt sich daraus entweder nur  $k$  mit Hilfe der Gleichung  $v = k n$ , oder  $k_1$  und  $k'$  mittels der Formel  $v = k' n + k_1$ , oder endlich  $k_2$  und  $k''$  auf Grund der Gleichheit  $v = k'' n + k_2$  ableiten, wobei es freigestellt bleibt, ob hiebei die Methode der kleinsten Quadrate angewendet werden will oder nicht.

Wir hatten aus dem oben angegebenen Grunde noch keine Gelegenheit zur directen Bestimmung der Constanten des Amsler'schen Flügels, womit wir auch eine Untersuchung über den Einfluss des den Flügel umgebenden Blechcylinders auf die Geschwindigkeitsmessung zu verbinden gedenken, sondern mussten uns vorläufig begnügen, diesen Flügel lediglich mit dem zu der Sammlung hydrometrischer Instrumente des hiesigen K. Polytechnicums gehörigen, von Petri in Augsburg verfertigten Flügel Nr. I zu vergleichen, dessen Constante  $k' = 0,2911^m$  ist.

Sind  $t$ ,  $t'$  die Zeiten, in welchen die Flügel A und B die Umdrehungen  $u$ ,  $u'$  machen, wenn sie der Einwirkung einer gleichbleibenden Geschwindigkeit ausgesetzt sind, so ist diese Geschwindigkeit ausgedrückt durch

$$k \frac{u}{t} = k' \frac{u'}{t'}$$

und demnach die gesuchte Constante

$$k = \frac{t u'}{t' u} k'. \quad (195)$$

Um die Zeitbestimmung möglichst fehlerfrei zu erhalten und auch jeden Wechsel der Geschwindigkeit des Wassers, welcher in Werkcanälen nie ganz zu vermeiden ist, gleichmässig auf beide Instrumente wirken zu lassen, wurden in dem regelmässigen Gerinne des Auer Mühlbachs bei München, und zwar innerhalb der Eichthal'schen Lederfabrik, an zwei vom Stromstriche gleichweit entfernten und nur etwas über einen Meter auseinander liegenden Stellen, für welche gleiche Wassergeschwindigkeiten vorausgesetzt werden durften, folgende Beobachtungen gemacht:

Nr.	500 Umdrehungen des Flügels von Amsler erfolgten in	Der Flügel von Petri machte in der voranstehenden Zeit
1	158 Secunden	585 Umdrehungen
2	149 "	568 "
3	126 "	576 "
4	134 "	573 "
5	133 "	581 "





## Alphabetisches Sachregister zum ersten B

Die Zahlen bedeuten die Seiten.

### A.

Aberration, sphärische 73, chromatische 80.  
 Abgleichen der Messstangen 307, 312.  
 Abpflocken einer Linie 128.  
 Abplattung der Erde 5.  
 Absehlinie 28.  
 Absteckpfähle 129.  
 Absteckstäbe (Fluchtstäbe) Beschreibung 131, Gebrauch 132.  
 Abweichung, magnetische (Declination) 204.  
 Achromatische Linsen 82.  
 Aequator, Aequatorebene 6.  
 Alhidade 232, Excentricität derselben 249.  
 Aneroidbarometer (Federbarometer) 422.  
 Anschlagnadeln 199.  
 Arretiren der Magnetnadel 209.  
 Aufriß 9.  
 Aufschreibung für Winkelmessungen 241, 260.  
 Aufspannen des Papiers auf Messischblätter 208.  
 Aufstellen der Messinstrumente, s. die einzelnen Instrumente.  
 Auftragsinstrument (Zulegezeug) 228.  
 Auge, Bau desselben 19, weitsichtige und kurzsichtige Augen 22.  
 Augenpunkt des Fernrohrs 79.  
 Ausschlag einer Libelle 49, 65.

Axe einer Libelle 49, 65  
 68, eines Fernrohrs 76.

### B.

Barometer, Allgemeines  
 silberbarometer 408,  
 Reisebarometer 409, Gay  
 Reisebarometer 412, Ratl  
 barometer 415, Prüfung c  
 416, Gebrauch der Ba  
 Correctionen 420. Feder  
 422, Federbarometer von  
 schreibung 422, Gebrauch  
 besserungen der Aneroi  
 Constantenbestimmung 4  
 keit 431; Goldschmid'sch  
 meter, Beschreibung 43  
 435, Genauigkeit 435.  
 Basisapparat von Reich  
 von Bessel 309.  
 Bergwage 374.  
 Berichtigung der Messin  
 die einzelnen Instrument  
 Bild eines leuchtenden  
 Gegenstands 68, 71.  
 Bildweite 70, 77.  
 Blende (Diaphragma) ein  
 eines Fernrohrs 97.  
 Bocksignale 137.  
 Breite, geographische 6.  
 Brennpunkt, Brennweite.  
 Bussoleninstrumente  
 bussola 208, Bussola von

220, Orientirbussole 222, Hängecom-  
pass 223, Zulegezeug 228.

## C.

Canalwage 375.

Centriren des Objectivs eines Fern-  
rohrs 102, des Fadenkreuzes 104.

Coincidiren 109.

Collectivlinse 83, 97, 351.

Collimationsfehler (Indexfehler) der  
Kippregel 196, 341, des Theodolithen  
247, des Spiegelsextanten 282.

Comparator 304, von Schwerd 307,  
von Bessel 312.

Compass 208.

Convexlinsen, Allgemeines 68, Opti-  
scher Mittelpunkt 69, Hauptformel für  
Linsen 70, Lage und Grösse des  
Bilds 71, Kugelabweichung (sphä-  
rische Aberration) 73, Farbenabwei-  
chung (chromatische Aberration) 80,  
Helligkeit der Linsenbilder 85, 87.

Correction der Messinstrumente, s. die  
einzelnen Instrumente.

## D.

Declination (Abweichung, magne-  
tische) 204.

Deutlichkeit des Sehens 21, des  
Fernrohrs 101.

Diaphragma (Blende) einer Lupe 75,  
eines Fernrohrs 97.

Dioptr, Einrichtung und Prüfung 28,  
Genauigkeit 31, Nachtheile 81.

Dioptrilineal 191.

Dioptrische Fernrohre 76.

Distanzlatten, s. Distanzmesser.

Distanzmesser, Allgemeines 330.  
Reichenbach'scher Distanzmesser,  
Einrichtung 331, Latte 333, 343, Wir-  
kungsweise 334, Reduction der schiefen  
Längen 337, Prüfung und Berichtigung  
340. Reichenbach-Ertel'scher Di-  
stanzmesser 346, Wirkung des Collectiv-  
glases 351, Reduction der schiefen  
Längen 352, Prüfung und Berichtigung  
353, Constantenbestimmung 354, Ge-  
nauigkeit der Distanzmessung 357.  
Stampfer'scher Distanzmesser 357,

Latte 360, Aufstellung und Gebrauch  
361, Theorie 362, Genauigkeit 364,  
Prüfung und Berichtigung 365.

Dosenlibellen, gewöhnliche Form 65,  
besondere Art 67.

Durchschlagen der Fernrohre 194,  
200, 218, 242, 247, 260, 263, 354.

## E.

Einspielen der Blase einer Libelle 50.  
Erde, Gestalt und Grösse 4.

Excentricität (Uebertheilung) der Nonien  
112.

Excentricität des Bussolenzapfens  
216, der Bussolennadel 219, der Visir-  
linie einer Bussole oder eines Theodo-  
lithen 217, der Alhidade eines Theo-  
dolithen 249.

## F.

Fadenkreuz, Formen desselben 95,  
Parallaxe 100, Centrirung 104, Ein-  
ziehen der Kreuzfäden 103.

Fadenmikrometer 332, 349.

Farbenabweichung 80.

Federbarometer (Aneröidbarometer)  
422.

Feldbussole (Feldmessercompass), Be-  
schreibung 208, Gebrauch 210, Prü-  
fung und Berichtigung 211, Excentri-  
cität des Zapfens 216, Excentricität  
der Visirlinie 217, Excentricität der  
Nadel 219.

Feldkette, s. Messketten.

Feldmessercompass (Feldbussole)  
208.

Feldzirkel 318.

Fernrohr, astronomisches: Einfachster  
Bau 76, Lage des Bilds 76, Ver-  
grösserung 78, Augenpunkt 79, Far-  
benabweichung und achromatische  
Linsen 80, Objectiv 82, Ocular 83,  
Helligkeit und Gesichtsfeld bei zwei  
Linsen 87, Gesichtsfeld und Ver-  
grösserung bei drei Linsen 91, Faden-  
kreuz 94, das ganze Fernrohr 96,  
Prüfung des Fernrohrs 101, Genauig-  
keit des Zielens 105, practische Be-  
merkungen 105.

Fluchtstäbe, Beschreibung 131, Gebrauch 132.

### G.

Gebrauch der Messinstrumente, s. die einzelnen Instrumente.

Gefäll, absolutes und relatives eines Flusses 438.

Genauigkeit des Zielens mit Dioptern 31, mit Fernrohren 105, Genauigkeit der Messtischaufnahmen 202, der Kettenmessungen 322, des Reichenbach'schen Distanzmessers 357, des Distanzmessers von Stampfer 364, Genauigkeit des Naudet'schen Barometers 431, des Goldschmid'schen Barometers 435.

Geodäsie, Begriff und Umfang 4.

Geodätische Linie 8.

Geographische Begriffe: Erdaxe, Meridian, Aequator, Parallel, Länge, Breite 5.

Geschwindigkeitsmesser 436.

Gesichtsfeld 87, 91.

Glasprismen 36, dreiseitige 37, vierseitige 40, fünfseitige 44.

Globus 9.

Gradbogen einer Kippregel 192, Gradbogen (Hängewage) 374.

Gradmessungen 11.

Gradring 208.

Grubentheodolith 265, 270.

### H.

Hängecompass, Beschreibung 223, Gebrauch 226, Prüfung und Berichtigung 226.

Hängelampe 139.

Hängewage (Gradbogen) 374.

Heliotrope, Zweck 141; Heliotrop von Gauss, Theorie 142, Beschreibung 143, Gebrauch 143, Prüfung und Berichtigung 145. Hilfs-heliotrop von Stierlin 149. Heliotrop von Steinheil, Theorie 150, Beschreibung 151, Gebrauch 151. Heliotrop von Bertram 153. Heliotrop von Reitz 155. Heliotropenlicht 156.

Helligkeit, natürliche 21, 84, der Linsenbilder 85, 87.

Höhenmessinstrumente 368.

Höhenparallaxe des Sextanten 281.

Höhenwinkel (Elevationswinkel) 158.

Horizont, wahrer und scheinbarer 8, natürlicher und künstlicher 279.

Horizontale Linien und Ebenen 5.

Horizontalkreis 232.

Horizontalstellen von Linien und Ebenen 63.

Hydrotechnische Begriffe: Wasserfaden, Geschwindigkeit, Wassermenge, Stromstrich, Stromrinne, Längenprofil, Gefäll, Querprofil 437.

Hydrometrischer Flügel: von Woltman 455, von Amsler-Laffon 466.

### I.

Indexfehler (Collimationsfehler) 196, 247, 282, 341.

Instrumente zum Winkelmessen 158, zum Längenmessen 302, zum Höhenmessen 368, zum Geschwindigkeitsmessen 436.

Instrumentenlehre, Begriff und Einteilung 27.

Justirbrett (Legebrett) 57, 62.

### K.

Karte eines Landes 8.

Katoptrische Fernrohre 76.

Keil, s. Messkeil.

Kette, s. Messkette.

Kippregel, Beschreibung 191, Prüfung und Berichtigung 193, Gebrauch 198, Neuere Kippregeln 199.

Kugelabweichung 74.

### L.

Lachterkette 324.

Lachterstäbe 318.

Länge, geographische 6.

Längenmessinstrumente 302.

Längenprofil eines Flusses 438.

Lampen als Signale 139.

Landkarte 8.

Legebrett (Justirbrett) 57, 62.

Libellen, Allgemeines 48, Röhrenlibellen 49, Dosenlibellen 65.

Libelleninstrumente 380.

Libellensetzwage von Dittmar 380,  
von Falter 382.  
Lichtsignale 139.  
Limbus 237.  
Linie, gerade, gebrochene, krumme  
auf dem Felde 129.  
Linsen, s. Convexlinsen.  
Lothgabel 47.  
Lothrechte Linien und Ebenen 6.  
Lupen, Allgemeines 67, Lage und  
Grösse des Bilds 71, Vergrösserung 72,  
Fassung der Lupen 75.

## M.

Magnetismus 204.  
Markpflöcke 129.  
Markscheidergoniometer 270.  
Markscheideschrauben 130.  
Masse, im Allgemeinen 10, französische  
12, neue deutsche und abgeschaffte  
deutsche 14, österreichische 16, schwei-  
zerische 17, englische 17, Winkelmasse  
18, Massvergleichen 19.  
Massstäbe, Allgemeines 303, Urmass-  
stäbe 303; Messstangen: Apparat  
von Reichenbach 305, Apparat von  
Bessel 309; Messlatten 315; Mess-  
stäbe: Ruthenstab 317, Lachterstab  
318, Feldzirkel 318.  
Mensel, s. Messtisch.  
Meridian, geographischer 5, magne-  
tischer 204.  
Messbänder 325.  
Messen, Allgemeines 3.  
Messfahnen 181.  
Messkeil 125, Prüfung desselben nach  
Schwerd 126, nach Bessel 127.  
Messketten 319, Feldkette, Beschrei-  
bung 319, Gebrauch 321, Genauigkeit  
der Kettenmessungen 322. Lachter-  
kette 324.  
Messlatten 315.  
Messräder 327, Messrad von Steinheil  
327, Messrad von Wittmann 328.  
Messschnüre 325.  
Messstäbe 317.  
Messstangen 305, 309.  
Messtisch (Mensel) 176, Reichenbach-  
scher Messtisch 176, Aufstellung des

Messtisches 178, Neuere Messtische 181,  
Messtisch von Ertel (Bauernfeind's  
älterer Messtisch) 181, Messtisch von  
Geyer 184, Bauernfeind's neuerer Mes-  
stisch 186, Messtisch von Jähns 187,  
Genauigkeit der Messtischaufnahmen  
202.

Messtischapparat 175.

Metallbarometer 422.

Meter 12.

Mikrometerschrauben 113, Theorie  
115.

Mikroskop 117.

Multiplication (Repetition) der Win-  
kel 233, 259.

## N.

Nägel zum Abstecken 130.

Naturmass 11.

Nivellementsplan 9.

Nivellirdiopter, gewöhnliches 384,  
von Stampfer 385.

Nivellirinstrumente, Allgemeines  
368, Nivellirlatten 370. Pendel-  
instrumente 373: Setzwage und  
Pendelwage 373, Berg-, Wall- und  
Hängewage (Gradbogen) 374. Röh-  
reninstrumente 375: Canalwage  
375, Quecksilberwage 379. Libellen-  
instrumente 380: Libellensetzwage  
von Dittmar 380, Libellensetzwage von  
Falter 382, Setzniveau von Weisbach  
382; Gewöhnliches Nivellirdiopter 384,  
Stampfer's Nivellirdiopter 385; Stam-  
pfer's Nivellirfernrohr 386; Kleines Ni-  
vellirinstrument von Ertel: Beschrei-  
bung 388, Prüfung, Berichtigung und  
Gebrauch 389. Amsler'sches kleines  
Nivellirinstrument 391. Grosses Ni-  
vellirinstrument von Ertel (Universal-  
instrument) 393. Grosses Nivellir-  
instrument von Breithaupt: Beschrei-  
bung 395, Prüfung und Berichtigung  
398. Kleines Nivellirinstrument von  
Breithaupt 399. Nivellirinstrument  
von Stampfer und Starke 401.

Nivellirlatten, mit Zieltafeln (Schiebe-  
latten) 370, ohne Zieltafeln (Scalen-  
latten) 372.



# Alphabetisches Sachregister.

Nonius (Werner, Vernier), Allgemeines 107, Nachtragender Nonius 108, Vortragender Nonius 110, Ablesung und Uebersetzung 111, Beispiele für den Gebrauch 112.

## O.

Objectiv eines Fernrohrs 82, Centrirung desselben 102, Reinigung der Objective 106.  
Ocular eines Fernrohrs 83, das Ocular von Huyghens 97, von Ramsden 97, das orthoskopische Ocular 98, das prismatische Ocular 99.  
Optische Axe eines Fernrohrs 76.  
Optischer Mittelpunkt einer Linse 69.  
Orientirbusssole 222.

## P.

Parallaktischer Winkel 31.  
Parallaxe des Fadenkreuzes 99.  
Parallelkreis 6.  
Parallelspiegel 82.  
Pendelwage 373.  
Pfähle (Absteckpfähle) 129.  
Pfeilersignale 134.  
Pitot'sche Röhre (Reichenbach'scher Strommesser) 448, Verbesserung 451.  
Plan einer Gegend 8.  
Prismenkreis (Spiegelkreis) 293.  
Prismenkreuz 168, Theorie 168, Beschreibung 170, Prüfung und Berichtigung 171, Gebrauch 172. Neuere Construction 173.  
Profil 9.  
Prüfung der Messinstrumente, s. die einzelnen Instrumente.  
Punkt, Bezeichnung eines solchen auf dem Felde 128, in Gruben 130.  
Punkteisen 131.  
Pyramidensignale 137.

## Q.

Quecksilberbarometer 408.  
Quecksilberwage 379.  
Querprofil eines Flusses 438.

## R.

Repetition (Multiplication) der Winkel 233, 259.

Repetitionstheodolith 1  
Röhrenlibellen, Ausschl.  
49, Empfindlichkeit 51,  
sungen 53, Prüfung und I  
57, Gebrauch 62.  
Ruthenstab 317.

## S.

Sammellinsen (Convexlin  
Scalenlatten 372.  
Schauritze eines Diopters  
Scheinbare Grösse eines  
23, 78.  
Schiebelatten 370.  
Schiefenparallaxe des Se  
Schnellmesser (Tacheom  
Schraubenmikroskop, 6  
117, Gebrauch 121, Prüfu  
richtung 123.  
Schwimmkugel 439.  
Sehen mit freiem Auge 1  
beim Sehen 20, Deutliche  
Weite des deutlichen Sehen  
bare Grösse 23.  
Sehloch eines Diopters 29.  
75.  
Sehstrahl 28.  
Sehweite 22.  
Sehwinkel 24.  
Senkel, einfacher 46, Dop  
Lothgabel 47.  
Senkeleisen 131.  
Setzlampe 140.  
Setzniveau 382.  
Setzwage 373.  
Sextant (Spiegelsextant) 2  
Signale, natürliche und künstliche  
Stangensignale 134, Pfeiler  
Bocksignale 137, Pyramiden  
Lichtsignale 139.  
Silberspiegel 32.  
Situationsplan, s. Plan.  
Sohnnägels 131.  
Spiegel, Parallelspiegel  
tische Spiegel 35.  
Spiegelinstrumente 272.  
tant 273, Spiegelkreis 293  
Spiegelkreis, Allgemeine  
gelkreis von Pistor und 1

Theorie 296, Gebrauch 300, Prüfung und Berichtigung 301.  
**Spiegelsextant**, Geschichtliches 273, Theorie 273, Einrichtung 275, Gebrauch 278, Prüfung und Berichtigung 282, Fehler des Sextanten 286, Neigung der Fernrohrraxe und Verbesserung der Winkel deshalb 287, Mass des Neigungswinkels 289, Neigung des grossen Spiegels und Verbesserung der Winkel 290, Neigung des kleinen Spiegels und Verbesserung der Winkel 291.  
**Störungen**, magnetische 207.  
**Strommesser** von Reichenbach (Pitot'sche Röhre) 448, 451.  
**Stromquadrant**, Beschreibung 442, Theorie 444, Constantenbestimmung 445, Prüfung und Berichtigung 447.  
**Stromrinne** 437.  
**Stromstrich** 437.  
**Stundenlinie** 227.  
**Stundenring** (Gradrings) 226.

## T.

**Tacheometer** (Schnellmesser) von Moinot 404.  
**Theodolithen**, Allgemeines 230, Einfacher Theodolith 232, Repetitionstheodolith 233. Einfacher Theodolith von Breithaupt: Einrichtung 235, Aufstellung und Gebrauch 239, Prüfung und Berichtigung 242, Excentricitäts- und Theilungsfehler 249. Theodolith mit drehbarem Limbus 252. Centrischer Repetitionstheodolith von Ertel: Beschreibung 253, Aufstellung und Gebrauch 258, Prüfung und Berichtigung 261. Excentrischer Repetitionstheodolith von Ertel 263. Grubentheodolith von Breithaupt: Beschreibung 265, Gebrauch 268, Prüfung und Berichtigung 269. Grubentheodolith von Junge (Markscheidergoniometer): Beschreibung 270, Vorzüge 271.  
**Tiefenwinkel** (Depressionswinkel) 158.  
**Totalreflexion** in Glasprismen 36.

## U.

**Uebertheilung** der Nonien 111.  
**Universalinstrument** von Ertel 393.  
**Urmassstäbe** 303.

## V.

**Vergrösserung** einer Lupe 72, eines Fernrohrs 78.  
**Vermessungskunde**, Begriff und Umfang 4, Eintheilung 9.  
**Vernier** (Nonius) 107.  
**Verticale Linien** und Ebenen 6.  
**Verticalkreis** 233.  
**Visirlinie** (Absehlilie) 28.

## W.

**Wagrechte Linien** und Flächen 7.  
**Wallwage** 374.  
**Wasserfaden** 437.  
**Wassermenge** 437.  
**Wassermessinstrumente** (Instrumente zum Geschwindigkeitsmessen) 436.  
**Wasserwagen** (Libellen) 48.  
**Werner** (Nonius) 107.  
**Winkelkreuz** 159.  
**Winkelmasse** 18.  
**Winkelmessinstrumente** 158.  
**Winkelprismen**, dreiseitige 164, vierseitige 165, fünfseitige 166, distanzmessendes Prisma 167.  
**Winkelspiegel**, Allgemeines 161, Theorie 162, Gebrauch 163, Prüfung und Berichtigung 163.  
**Winkeltrommel** 160.  
**Woltman'scher Flügel**, Einrichtung 455, Gebrauch 458, Theorie 459, Constantenbestimmung 461, Verbesserung des Flügels, Veränderung des Zählapparats durch Amsler 466.

## Z.

**Zenithdistanz** 158.  
**Zenithwinkel** 158.  
**Zielscheibe** 361, 403.  
**Zulegezeug** 228.



